

Scanning electron microscope

Publication number: JP2002507045 (T)

Publication date: 2002-03-05

Inventor(s):

Applicant(s):

Classification:

- International: H01J37/244; H01J37/28; H01J37/244; H01J37/28; (IPC1-7): H01J37/28; H01J37/244

- European: H01J37/28; H01J37/244

Application number: JP20000538092T 19990310

Priority number(s): DE19981010301 19980310; DE19981045329 19981001; WO1999EP01544 19990310

Also published as:

US6590210 (B1)

WO9946797 (A1)

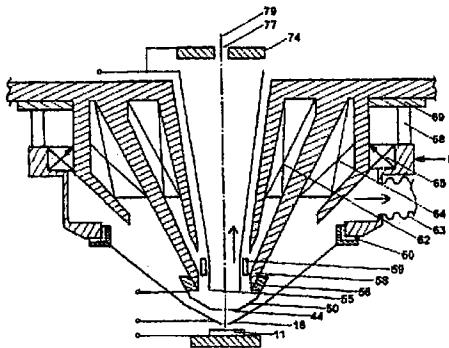
EP1068630 (A1)

EP1068630 (B1)

Abstract not available for JP 2002507045 (T)

Abstract of corresponding document: US 6590210 (B1)

With a scanning electron microscope having an electron gun and a specimen chamber between which one or more pressure stage apertures are arranged, through whose orifices a primary electron beam can be deflected to a specimen in the specimen chamber, where the lowest pressure stage aperture (18) nearest the specimen, through which the primary electron beam strikes the specimen, is set up to shield an elevated pressure in the specimen chamber with respect to the remaining microscope column of the scanning electron microscope and to allow secondary electrons emanating from the specimen to pass through their orifice to reach at least one detector, the detector is a high-sensitivity detector (74) biased at a positive potential with respect to the specimen. At least one electrode (44, 55) which is at a positive potential with respect to the pressure stage aperture (18) and is adapted to deflect the secondary electrons from the specimen to the detector (74) may be arranged above the bottom pressure stage aperture (18). As an alternative, the scanning electron microscope is equipped for detection of secondary electrons through the orifice of at least one pressure stage aperture which is constructed in layers of at least two conductive layers which are electrically insulated from one another and can be biased with potentials.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

17. 5

D1

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号
特表2002-507045
(P2002-507045A)

(43)公表日 平成14年3月5日 (2002.3.5)

(51)Int.Cl.⁷
H 01 J 37/28
37/244

識別記号

F I
H 01 J 37/28
37/244

テーコード (参考)
B 5 C 0 3 3

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 60 頁)

(21)出願番号 特願2000-536092(P2000-536092)
(36) (22)出願日 平成11年3月10日(1999.3.10)
(85)翻訳文提出日 平成12年9月11日(2000.9.11)
(86)国際出願番号 PCT/EP99/01544
(87)国際公開番号 WO99/46797
(87)国際公開日 平成11年9月16日(1999.9.16)
(31)優先権主張番号 198 10 301. 8
(32)優先日 平成10年3月10日(1998.3.10)
(33)優先権主張国 ドイツ (DE)
(31)優先権主張番号 198 45 329. 9
(32)優先日 平成10年10月1日(1998.10.1)
(33)優先権主張国 ドイツ (DE)

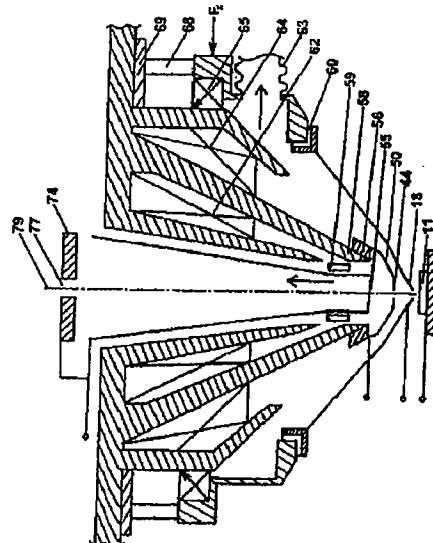
(71)出願人 エッサー、エリック
ドイツ連邦共和国、デー - 76131 フ
ールスルーエ、ラハナーシュトラーセ 6
(72)発明者 エッサー、エリック
ドイツ連邦共和国、デー - 76131 フ
ールスルーエ、ラハナーシュトラーセ 6
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外4名)
Fターム(参考) 5C033 NN04 UU04

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 走査型電子顕微鏡

(57)【要約】

【解決手段】電子銃と、一次電子ビームを試料室内の試料に導く圧力ステージアバチャーが中に配置された試料室とを有する走査型電子顕微鏡である。試料の近くに設けられ一次電子ビームを試料に当てる下側の圧力ステージアバチャー(18)は、走査型電子顕微鏡の残りの顕微鏡カラムに連通して試料室内の増加される圧力をシールドし、二次電子が試料からこれのオリフィスを通って検出器に向かうのを可能にしている。この検出器は、試料に対して正電位である高感度検出器(74)である。圧力ステージアバチャーに対して正電位であり、試料からの二次電子を検出器(74)に導く電極(44, 55)が、圧力ステージアバチャー(18)の上方に設けられ得る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ビーム源と試料室とを有し、これらの間に少なくとも1つの圧力ステージアパチャーヤーが配設され、この圧力ステージアパチャーヤーのオリフィスを通って一次電子ビームが前記試料室内の試料に向かって偏向され、最も試料に近い最下側の圧力ステージアパチャーヤー(18)を通って一次電子ビームは試料に当たり、この圧力ステージアパチャーヤー(18)は、走査型電子顕微鏡の残りの顕微鏡カラムに対して試料室内の昇圧をシールドし、また試料からの二次電子が圧力ステージアパチャーヤーのオリフィス(16)を通って少なくとも1つの検出器に達するのを可能にするように設定されている走査型電子顕微鏡において、

試料に対してバイアス電位の高感度検出器(51, 74, 91)が前記検出器として設けられていることを特徴とする走査型電子顕微鏡。

【請求項2】 前記最下側の圧力ステージアパチャーヤー(18)の上方に配置された少なくとも1つの電極(39, 43, 44, 55)が、圧力ステージアパチャーヤー(18)に対して正電位であり、試料からの二次電子を検出器(51, 74, 91)へと偏向するようになっている請求項1の走査型電子顕微鏡。

【請求項3】 ビーム源と試料室とを有し、これらの間に少なくとも1つの圧力ステージアパチャーヤーが配設され、この圧力ステージアパチャーヤーのオリフィスを通って一次電子ビームが前記試料室内の試料に向かって偏向され、最も試料に近い最下側の圧力ステージアパチャーヤー(18)を通って一次電子ビームは試料に当たり、この圧力ステージアパチャーヤー(18)は、走査型電子顕微鏡の残りの顕微鏡カラムに対して試料室内の昇圧をシールドするようになっている走査型電子顕微鏡、特に、請求項2に係わる走査型電子顕微鏡において、

この走査型電子顕微鏡は、互いに電気的に絶縁された少なくとも2つの導電層(39, 43)からなる層により構成された少なくとも1つの圧力ステージアパチャーヤーのオリフィスを通る二次電子の検出するようになっており、圧力ステージアパチャーヤーの上側と下側との間に電位差が生じるよう、電位が前記導電層に印加されることを特徴とする走査型電子顕微鏡。

【請求項4】 前記圧力ステージアパチャーヤー(18)並びに／もしくはこの上方の電極(39, 43, 44, 50, 55)とは、少なくとも1つの静電レ

(3)

特表2002-507045

ンズを構成し、この静電レンズは、圧力ステージアパチャー(18)と、これの上方の電極と間の電界、もしくは圧力ステージアパチャーの上方の電極間の電界により一次電子ビームを収束するようになっている請求項2もしくは3の走査型電子顕微鏡。

【請求項5】 前記電極(39, 43, 44, 50, 55)は、走査型電子顕微鏡の光軸と同心的に配置されている請求項2もしくは3の走査型電子顕微鏡。

【請求項6】 少なくとも所定の領域で、検出器(51, 75, 91)の表面は、試料の電位に対して500V以上の正電位となっている請求項2ないし5のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項7】 少なくとも所定の領域で、検出器(51, 75, 91)の表面は、試料の電位に対して1000V以上の正電位となっている請求項2ないし5のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項8】 静電-磁気組合せ対物レンズが設けられている請求項2ないし7のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項9】 前記圧力ステージアパチャー(18)の上方の電極(39, 44)は、付加の圧力ステージアパチャーを構成し、そして、排気装置が、圧力ステージアパチャー間の中間スペースを減圧にするように設けられている請求項2ないし8のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項10】 圧力ステージアパチャーを構成している前記電極は、1500μm以下の特徴的なディメンションを有するオリフィスを備えている請求項9の走査型電子顕微鏡。

【請求項11】 部品のデザインは、試料室内の昇圧での顕微鏡動作のために必要な部品(13, 18, 19, 31, 32, 39, 40, 42-44, 60, 63, 65, 68, 69)が試料室内で容易に分解され得る少なくとも1つの集合体グループを構成するように、設けられている請求項2ないし10のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項12】 第1の検出器(74)が、一次電子ビーム近くの、内側のオリフィス(77)もしくは外側のエッジを有するように配設され、また、二次

(4)

特表2002-507045

電子の移動方向に対してオリフィス(77)もしくは外側のエッジの後方に配置され、オリフィス(77)もしくは外側のエッジを通るもしくは通った二次電子(85, 86)を検出するように設けられた第2の検出器(91)を具備する請求項2の走査型電子顕微鏡。

【請求項13】 前記二次電子は、磁場(80)により光軸から偏向される請求項2ないし12のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項14】 前記検出器(51, 75, 91)の表面は、少なくとも所定の領域で試料の電位に対して、500V以上の正電位となっている請求項1の走査型電子顕微鏡。

【請求項15】 前記検出器(51, 75, 91)の表面は、少なくとも所定の領域で試料の電位に対して、1000V以上の正電位となっている請求項1の走査型電子顕微鏡。

【請求項16】 部品のデザインは、試料室内の昇圧での顕微鏡動作のために必要な部品(13, 18, 19, 31, 32, 39, 40, 42-44, 60, 63, 65, 68, 69)のみが試料室内で容易に分解され得る少なくとも1つの集合体グループを構成するように、設けられている請求項1もしくは15の走査型電子顕微鏡。

【請求項17】 前記試料(11)と下側の圧力ステージアパチャ(18)との間に磁界が発生されており、この磁界は、光軸に対して回転対称をなし、試料から圧力ステージアパチャのオリフィス(16)への二次電子の移動を良くしている請求項1ないし16のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項18】 前記二次電子は、検出器(51, 74, 91)への二次電子のバス上にある少なくとも2つの圧力ステージアパチャのオリフィス(16, 41)を、下側の圧力ステージアパチャ(18)を通る磁力線の全てが上側の圧力ステージアパチャ(44)も通るようにこれらのオリフィス内に発生された磁界により、通る請求項1ないし17のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項19】 付加の磁界(80)がレンズ(62, 64)の磁界に加えて発生され、二次電子を検出器(51)の方向に偏向する請求項1ないし18のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

(5)

特表2002-507045

【請求項20】 対向電極(78)が、二次電子を減速して、検出器(51)への二次電子の移動を助けるように設けられている請求項1ないし19のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項21】 エネルギー発散型X線検出器(EDX)が、試料(11)と下側の圧力ステージアパチャ(18)との間が1.5mm未満の距離のもとで動作するように設けられている請求項1ないし20のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項22】 昇圧のもとで、試料室内の試料の走査型電子顕微鏡像を記録するための請求項1ないし21のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、走査型電子顕微鏡、特に、僅かに昇圧された状態で動作する走査型電子顕微鏡、もしくは、試料室内の気体で動作するように真空中で動作する走査型電子顕微鏡に関し、また、特に、低い一次エネルギーで特に動作するような顕微鏡の改良された観察効率（即ち、顕微鏡に記録された像の信号ノイズ比の改良）に関する。

【0002】

【従来技術】

僅かに昇圧された状況で動作する走査型電子顕微鏡（圧力SEM）においては、数ヘクトパスカルないし数キロパスカルの最大動作圧力が、試料室内で通常発生されている。このような圧力において、一次電子は、比較的短い平均自由行程を有する。このために、顕微鏡のカラムは、圧力ステージアパチャ（もしくは圧力規制アパチャ）により、試料室に対してシールされている。そして、このアパチャを介して、電子ビームは、試料室に入る。また、この圧力ステージアパチャの上方で、圧力は数十倍減じられている。

【0003】

試料から射出された後方散乱電子（バック・スキャッター・エレクトロン）は、試料と圧力ステージアパチャとの間に配設されたシーンチレータ光案内組合せ体により検出され得る。しかし、改良された解像度は、試料から射出され、コレクター電極の助けで検出され得る二次電子を使用するときに、得られる（PCT特許出願WO 88/09564 A1）。前記圧力ステージアパチャの下側は、コレクター電極としてデザインされるか、別のコレクター電極が圧力ステージアパチャの下側に配設され得る。

【0004】

僅かに昇圧された状況で動作する別の走査型電子顕微鏡においては、二次電子は、前小室の形態の圧力ステージアパチャの開口を介して検出される。この前小室は、別の圧力ステージアパチャにより、対物レンズに対して上方に向けて

(7)

特表2002-507045

シールされている。これでも、コレクター電極が二次電子のための検出器として使用されている（PCT特許出願WO 90/04261 A1）。このようなデザインは、テストされているが（G. D. Daniilatos, "Design and Construction of an Environmental SEM; Part 4" scanning, vol. 12 (1990) p. 23）、実用的には成功していない。

【0005】

前記コレクター電極を備えた検出システムは、続く電子的な増幅に対するノイズのために、検出感度が低く、このために、二次電子がコレクター電極に達する前に、二次電子信号を予め増幅する必要がある。このような前増幅は、気体分子をイオン化できるように試料から射出された二次電子を加速するように、試料とコレクター電極との間に形成された電界の助けにより、果たされる。気体分子との衝突の後に、このようにして気体中に発生された二次電子と予め存在している二次電子とは、前記電界によって再度加速されに、気体中にさらに二次電子を発生させる。このようにして、二次電子のカスケードは、試料から射出した二次電子により誘起されて、最終的にコレクター電極に達する。気体シンチレーション検出器として下流側の光増倍管を備えた光ガイドを使用した場合でさえも、二次電子のカスケードは、前増幅器として使用されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

このような前増幅カスケードにも係わらず、前記両方の場合において、僅かに昇圧されて記録された像の信号／ノイズ比は、昇圧を使用しない通常の二次電子検出器により記録された像と比較して、同じビームアンペア数においては、非常に悪い。かくして、圧力SEMの検出効率の改善と検出器のノイズの低減とが、特に敏感な試料（例えば、半導体部品、プラスチック、生化学並びに医療試料）を調べるときの、重要な最終目的である。

【0007】

さらに、低い一次エネルギーの使用は、また、小さいエネルギーが試料に与えられて試料を損傷してしまう敏感な試料を調べる場合に、電子ビームの照射が、

薄い表面層に限られるために、有効である。今まで知られている圧力SEMは、コレクター電極のために気体中に二次電子のカスケードを必要としており、また、このために、低い一次エネルギー（例えば、1 keV）で動作するためには、特に、濡れた試料の観察では、不適当である。低い一次エネルギーでの観察のためには、試料と、この上方に位置する圧力ステージアパチャードとの間の最短の可能な気体路は、圧力ステージアパチャードの上方の最低の可能な圧力と同様に、必要である。これは、低い一次エネルギーの場合には、気体中の一次電子の平均自由行程の長さも、また短くなるからである。しかし、このような状況のもとで、過去に知られた圧力SEMは、3 keVの一次エネルギー以上のみで濡った試料の観察のための試料室内の気体での動作に対して使用され得るようには、満足できるカスケード使用の前増幅が可能でなかった。しかし、3 keVさえも、信号のバックグラウンドが、散乱された多量の一次電子によって、発生され、この結果、高い一次エネルギーよりも像の信号／ノイズ比が悪い。同じようなことが、電荷蓄積を移す目的で、約1.5 hPaにまで高められた圧力のもとで従来の圧力SEMが使用される低い一次エネルギー（例えば、1.5 keV）での動作に対しても、言える。

【0008】

また、従来の圧力SEMは、コレクター電極を使用した場合の、動作増幅の時定数と、低い検出効率とによって、が低いビームアンペアのためには、充分には適していない。しかし、高倍率で、特に、低いビームアンペアと低い一次エネルギーとで、濡れた試料を調べる場合には、部分的な加熱を、かくして、観察される試料部分の乾燥を防止することが重要である。

【0009】

さらに、繊細な表面構造の良好な再生を果たし、かつエッジ効果を減じるよう に低い一次エネルギーに適している良好な信号／ノイズ比が、圧力SEMに要求 されている。

【0010】

低い一次エネルギーでの動作において電荷蓄積を防ぐことは、他の重要な問題 であり、この問題は、信号／ノイズ比が悪いために、現在の圧力SEMによって

(9)

特表2002-507045

は、充分には解決されていない。対応した圧力SEMにとつてのに可能な適用は、例えば、製造における自動的なモニターのために半導体工業で使用されているような、電子ビームリソグラフィ並びに計測設備での使用であり、例えば、像感度プラスチックを含む。これに代わって、電荷蓄積の影響は、像のための後方散乱(backscatter)電子により、他の計測設備では現在では、軽減されている。

【0011】

本発明の目的は、従来の圧力SEMの上記欠点を有さない、僅かに昇圧された状態で動作する改良されたSEM(以下に、圧力走査型電子顕微鏡もしくは圧力SEMと称する)を提供することであり、特に、圧力SEMの検出効率を、特に、低い一次エネルギーの動作で、改良することである。ここでは、検出は、試料室(もしくはこれに記録された際の信号/ノイズ比)に対して顕微鏡カラムを閉じる圧力ステージアパチャーよりて、生じる。

【0012】

【課題を解決するための手段】

この目的は、請求項1並びに/もしくは3に係わる態様を有するSEMにより達成される。本発明の効果的な実施の形態は、従属請求項に規定されている。

【0013】

本発明は、試料に対して正のバイアスが検出器として使用されるように、請求項1の上位概念で規定された態様を有する走査型電子顕微鏡の改良のアイデアを一般的に基礎としている。

【0014】

本発明に係われば、この目的は、少なくとも1つの電極部材(固体電極もしくは薄い電極層)が圧力ステージアパチャーより上方に配設されており、圧力ステージアパチャーよりて正電位を有し、気体内で試料で発生される二次電子のための検出器としてコレクター電極を使用せず、高感度を有する少なくとも1つの検出器を使用する事実による特に第1の態様に開わって達成される。

【0015】

この発明の効果は、特に、二次電子カスケードの存在に係りなく、高い検出効

(10)

特表2002-507045

率と検出システムの低ノイズとが、試料から射出された二次電子に対して果たされることがある。本発明に関わる圧力SEMにおいて、一次電子が気体中を通らなければならにいバスの長さは、試料と圧力ステージアパチャーレとの間を比較的短くし、圧力ステージアパチャーレの上方を急に排気することにより、非常に短く($300\mu\text{m}$)になされ得る。しかし、既知の圧力SEMに関しては、適当な二次電子カスケードが圧力ステージアパチャーレの上方にも下方にも発生されないので、気体を通る一次電子の短いバス長さ($300\mu\text{m}$)に対して原理的に適していない。

【0016】

気体を通る一次電子の短いバス長さに対して良く適するようにして、特に、圧力SEMのための2つの重要な新たな適用分野は、本発明に関わる圧力SEMによって発展され、また、既知の適用の特性が改善される。

【0017】

第1に、新たな適用として、走査型電子顕微鏡動作は、試料室内に気体(例えば、 10 hPa の圧力の蒸気)がある状態で低い一次エネルギー(例えば、 1 keV 以下)で、問題なく果たされ得る。検出器システムの低いノイズと高い検出効率とによって、低い放射電流強度のみが必要である。かくして、湿った試料が、観察される試料の場所を乾燥させないで、以前よりも高い倍率で観察され得る。さらに、事前のオプションにおける重要な改良は、弾くし一次エネルギーと良い検出効率のもとでの動作で、発生される電荷に勝つことにより達成される。

【0018】

第2に、走査型電子顕微鏡動作は、本発明に関わる圧力SEMにより、高い一次エネルギー($>15\text{ keV}$)で、非常に高い圧力($>100\text{ hPa}$)のもとで、二次電子により果たされ得る。非常に小さいポア径(例えば、 $20\mu\text{m}$)を有する圧力ステージアパチャーレを使用する場合には、これら走査型電子顕微鏡を、試料と圧力ステージアパチャーレとの間が非常に短い距離($<50\mu\text{m}$)で、大気圧(1013 hPa)のもとで動作させることが可能である。

【0019】

さらに、特に、低い一次エネルギーのもとで、低い一次エネルギーでの走査型

電子顕微鏡動作で問題となっている試料の汚染は、所定の気体（例えば、酸素もしくは酸素を含む化合物）の助けで中和される。（試料の効果的な純化は、走査型電子顕微鏡によりなされる測定の前に、高効率プラズマ純化装置がエアーロックと一体的であれば、なされ得る。）

本発明の第2の態様に係われば、二次電子の検出が少なくとも1つの圧力ステージアバチャヤによって行われる圧力SEMの検出効率のさらなる改良が、圧力ステージアバチャヤを通る二次電子の量を多くすることにより、特に達成される。この成分は、少なくとも1つの圧力ステージアバチャヤを複数の層で、即ち、絶縁層もしくは低導電層を間に介在させた少なくとも2つの層で構成することにより、圧力ステージアバチャヤの下側と上側とが異なる電位に設定されて二次電子の移動を改良するように圧力ステージアバチャヤ内に電界が発生されることにより、増加させ得る。

【0020】

上述した本発明の第1並びに第2の態様は、上述した目的を解決するように、別々もしくは一緒になって、構成され得る。両方の場合、高い圧力の試料近くの領域から、減じられた圧力（真空）の試料から離れた領域への二次電子の加速が果たされる。

【0021】

高い検出感度を有する一般の二次電子検出器において、個々の二次電子は、検出される多量のホトン、電子、もしくは電子-正孔対を射出させる。このために、二次電子が検出器に達する前か検出器の表面に沿う（チャンネルプレートもしくはチャンネル溝の近くで）、二次電子にエネルギーを供給することが必要である。この目的で、高い電圧が、試料と検出器との間もしくは検出器の表面に沿う（チャンネルプレートもしくはチャンネル溝のそば）に印加されなければならない。

【0022】

本発明の好ましい実施の形態は、かくして、全体の検出器表面もしくは検出器表面の部分が、試料の電位と比較して正で500V、好ましくは1000V高い電位に設定されるという事実による。一般的な圧力SEMの試料室内でのこのよ

(12)

特表2002-507045

うな検出器の使用は、スパークオバーを生じさせる。

【0023】

本発明の好ましい実施の形態は、圧力SEMが静電-磁気組合せ対物レンズを有するという事実による。製造が容易な純粋な静電対物レンズ（独国特許出願DE 3703029 A1）と比較して、これは、このようにしてデザインされた圧力SEMが3 keV以上の両方の従来の一次エネルギーでも使用され得るという効果がある。純粋な磁気対物レンズと比較して、静電-磁気組合せ対物レンズは、二次電子が圧力ステージアパチャーワーのオリフィスに電界により収束されるようになっている場合に特に効果がある。単一ポール磁気レンズ（例えば、歐州特許出願EP 0790634 A1、独国特許出願DE 4236273 A1、歐州特許出願EP 0767482 A2、並びにEP 0817235 A1）を有する実施の形態は、特に、非磁性試料を測定するために重要な効果である特別に良好な検出効率と特別に良好な解像度とを生じさせる。

【0024】

改良された検出効果は、試料並びに気体で発生されて圧力ステージアパチャーワーを通って検出器に達する二次電子の量の増大により生じる。単一ポール磁気レンズを使用する場合、この成分は、二次電子が圧力ステージアパチャーワーのオリフィスを通る磁力線の周りの螺旋形のバスを通過することにより、増大される。試料室内の気体内で、二次電子は、磁界強度が充分な場合には、圧力ステージアパチャーワーのオリフィスを通常は通過かもしれないが、衝突により、隣の磁力線の周りの螺旋形の新たなバスへと移動される。

【0025】

本発明の実施は、圧力SEMに限定されることはなく、排気された試料室を有して一般に動作されるSEMを改良することによっても実施され得る。これら2つの適用間の設備を変更する場合の容易性は、本発明の効果の1つである。

【0026】

【発明の実施の形態】

本発明の理解のために、図面の表示は、試料と検出器との間の領域に設けられた、本発明の理解のための重要な部品に制限されている。これは、例えば、ハウ

(13)

特表2002-507045

ジング壁、真空ポンプ、真空ライン、カソード、ビーム成形のための電極、コンテンサーレンズ、アパチャ、スティグマトール、アラインメントコイル、並びに制御装置を含む、走査型電子顕微鏡の他の部品は、示していない。例えば、図1は、特に、本発明に係わる圧力SEMの実施の形態のための、本発明の理解にとって本質的である部品を示す。

【0027】

一次電子ビームは、上方から検出器74のオリフィス77を通って光軸79に沿って進む。試料11を走査するために必要な一次電子ビームの偏向は、偏向コイル59の助けにより果たされる。この一次電子ビームは、電極44, 50, 55により形成された静電レンズと、磁気対物レンズ62並びに／もしくは単一ポールの磁気対物レンズ64により発生される磁界との助けにより収束される。そして、前記電極44と別の電極18との間の電界は、一次電子ビームを収束させるために、さらに貢献する。尚、光軸方向に開いたポールシュー間隙を有する前記磁気対物レンズ62と、前記単一ポールの磁気対物レンズ64との一方を省略することが可能である。

【0028】

前記電極55は、他方の電極44, 50に対して高い正の電位に設定されている。このような電位差は、好ましくは、1ないし15kV、例えば、7kVで良い。前記電極50, 44は、ポールシュー58の周囲の絶縁体に、これと同心的に配置されている。また、この電極44は、前記電極18に対して正の電位に設定されており、これらの間の好ましい電位差は、50ないし2000Vである。この電極18は、絶縁体60に接着されており、正の電位か、試料11と同電位に設定されている。印加される電圧の高さは、図2を参照して以下に説明される。

【0029】

前記両電極18, 44は、静電レンズを形成しているので、切頭円錐形レンズ18が、動作の間、高精度に光軸79と同心にされていることは、解像度にとって有効である。このための適切な可能性刃、例えば、マイクロメータねじ並びに／もしくは調節される圧電制御システムを使用することである。これの(x並び

にy方向に対する)作用力 F_x , F_y は、ここで一例として示される、周方向に分布された複数の円形ロッド68に弾性変形を生じさせる。前記電極44は、この電極44のオリフィス41の領域での電界の等電位面がほとんど平面であるために、前記電極18ほど中心付けされる必要がない。

【0030】

また、前記電極18, 44は、同時に、圧力ステージアパチャーとして機能するようにデザインされている。気体は、試料室の外に流れ、圧力ステージアパチャー18のオリフィスを通って、上方に流れ頭微鏡カラムに入る。そして、この気体は、矢印で示されるように、電極55のオリフィス並びに並型チューブ63を通るようにポンプで吸引される。中心合わせされ得る圧力ステージアパチャー18は、シールリング65により、外ボールシューに対してシールされている。

【0031】

図1に示される実施の形態において、試料室内が真空での動作においての動作距離と視野とに対して不必要な制限をなす前記部品(18, 44, 50, 56, 60, 63, 65, 68, 69)は、電極50を用いて動作させることができなく、真空中の動作で圧力SEMを容易に動作させるように分解され得る。このために、部品69は、これの上方の部品に対してのねじ留めが解除され得、また、絶縁体56は、ボールシュー58に、容易に取り外されるように装着されている。さらに、前記圧力ステージアパチャー18は、異なるサイズのオリフィスを有する圧力ステージアパチャーが使用され得るように、適用に応じて交換可能である。

【0032】

圧力ステージアパチャー18, 44並びに試料11を示す図1を拡大された詳細は、図2に示されている。前記電極44は、前記電極18に対して正電位となっており、この電位の高さは、同じ電界強度がオリフィス41の直接の上側と下側とで生じるように、設定されている。これにより、オリフィス41の領域での等電位面の曲率が可能な限り弱くなる結果となる。さらに、上圧力ステージアパチャー44は、光軸近くでの等電位面の最小の可能な曲率が生じるように非常に薄く設定されている。光軸近くのこの好ましい厚さは、300μmよりも薄く、

0.4 μm よりも厚い（例えば、20 μm ）。これは、金属（例えば、必要であれば、一次電子ビームで加熱され得る薄い層のアバチャー）、もしくは、特に、半導体材料（例えば、シリコン）をエッチングすることにより形成され得る。後者の場合には、半導体の薄い層がエッチングで残るか、半導体に事前に設けられた1枚の金属の層のみが残るである。

【0033】

図2に示される圧力ステージアバチャーのオリフィス16, 41の好ましいサイズは、試料室内の所望の最大許容圧力と、所望の最小使用可能一次エネルギーと、電極18, 44間の電圧並びに距離と、カソウド（例えば、ショットキー・エミッター）により必要とされる真空度とに、依存している。圧力ステージアバチャー18のオリフィス16の直径は、例えば、20ないし500 μm で良い。しかし、オリフィス16のサイズは、低い一次エネルギーに対して安定化が無視されるか、試料室内の圧力が低い圧力レベルに制限されているのであれば、100 μm で良い。例えば、オリフィス41の好ましい直径は、例えば、100 μm ないし200 μm で良い。これは、オリフィス16の直径の少なくとも2倍であることが好ましい。

【0034】

圧力ステージアバチャー18のために半導体材料を使用する場合には、後方散乱電子のための半導体検出器としてデザインされ得る。このための1つの可能性は、圧力ステージアバチャーの下側14と外側の下方領域とにn導電型の不純物をドープし、この上をスパッターリングにより薄い層でコーティングして、ショットキー接觸を形成することである。

【0035】

一次電子ビームは、図2に示されるオリフィス16を通って上方から試料室内に入り、この試料室内の気体を通って、試料に当たり、二次電子と後方散乱電子とを発生させる。二次電子は、弾性散乱に対して大きい有効断面積を有している。かくして、この動作軸は、拡散プロセスのときに、度々反転され、試料に達する前に散乱が吸収されるかもしれないリスクがある。かくして、二次電子は、オリフィス16を通る電界路のみによるか、試料11と圧力ステージアバチャー18

(16)

特表2002-507045

間に付加の電圧を印加することにより形成された電界の助けでオリフィス16の方向に偏向される。

【0036】

前記試料室内の気体並びに圧力と、オリフィス16の直径と、ボア壁17の長さと、内円錐面22の円錐角 β 、 γ と、試料11と圧力ステージアパチャ-18との距離とに依存して、ほとんどの二次電子が検出器74に達するような最適な電圧が前記試料11と圧力ステージアパチャ-18との間に印加される。このような電圧は、ゼロボルトと数百ボルトとの間で良い。前記試料11と圧力ステージアパチャ-18との間の距離が短いので、圧力ステージアパチャ-18のオリフィス16を通る電界路は、二次電子をオリフィス16の方向に偏向させるためには、

(上述したパラメータに依存して) 充分に大きいであろう。かくして試料11と圧力ステージアパチャ-18とは、同じ電位にされ得る。

【0037】

試料11と圧力ステージアパチャ-18との間に電圧を印加することは、幾つかの効果がある。この電圧は、比較的高い電界を印加し、かくして、圧力ステージアパチャ-18に向かう上方への二次電子の移動を改良する。同時に、これは、オリフィス16の直下の下方への等電位面の曲率を減らせる。この結果、二次電子は、この領域での光軸79方向への偏向が僅かとなる。

【0038】

非常に短いオリフィス16の口径、並びに、試料11と圧力ステージアパチャ-18との間の短い距離（例えば、試料室内の圧力や圧力ステージアパチャ-18の幾何学的形状に依存した、オリフィス16の直径の2倍までの距離）のために、二次電子の大部分は、オリフィス16を通る。これは、例え、試料11と圧力ステージアパチャ-18との間の電圧が、電界強度がオリフィス16内と同じとなるようにオリフィス16の下の近くでもほぼ同じような大きさとなるように選定されていてもである。このようにして、視野のエッジでの歪みは、視野が大きくなるように、減じられる。これは、内円錐面22が大きい円錐広がり角度 β を有し、かつボア壁17の長さがオリフィス16の直径に関連して小さい圧力ステージアパチャ-18の両方の適用で、特に、なされる。視野を大きくするため

(17)

特表2002-507045

の他の可能性は、視野のエッジで生じる歪みが像形成プログラムの助けで次に矯正されることである。

【0039】

前記試料11と圧力ステージアバチャー18との間の距離が比較的長く（例えば、 $1000 \mu\text{m}$ ）かつ電圧が比較的高い（例えば、200V）場合には、二次電子カスケードは、付加前増幅として得られる。充分に大きい（ $200 \mu\text{m}$ 以上、例えば、 $250 \mu\text{m}$ ）圧力ステージアバチャー16を使用する場合には、比較的距離が長くても高い検出効率を得るように、充分な二次電子がオリフィス16に入る。

【0040】

圧力ステージアバチャーのオリフィス16内で、電界は、また、二次電子が上方に連続して移動するための要因である。この電界のパターンは、オリフィス16の長さが、これの直径と比較して短くなれば、より好ましくなる。この点に関しては、図5に示されているような圧力ステージアバチャー18が好ましい。即ち、これは、円筒形状のポア壁17を全く有していないが、代わって、圧力ステージアバチャーの上側22と下側14との間で広がるような鋭い内エッジのみを有する。

【0041】

前記試料11と圧力ステージアバチャー18との間の電界に加えて、オリフィス16内に、図1に示されている単一ポールのレンズ64により発生される磁界が、オリフィス16方向に二次電子を移動させてオリフィス16を通過するために非常な助けとなる。光軸79に垂直二次電子の移動成分は、ローレンツ力の助けによる円形路へと磁界により偏向される。この結果、試料から射出される二次電子は、上方に向かう路でのラーモア半径の2倍の最大値により、2つの衝突の間での光軸79からの距離を長くすることが可能となる。弾性散乱のための有効断面積が特に大きい低エネルギーの二次電子は、効果のある特に小さいラーモア半径を有する。特に、 10 eV 以上のエネルギーの二次電子にとって、大きい拡散角度よりも小さい拡散角度となる可能性が特に高くなる効果がある。この結果、衝突の前後の円運動の中心点間の距離が、2つのラーモア半径の合計よりもかなり

短くなる。二次電子は、光軸79から離れる距離が非常に短くなるので、単一ポールのレンズを使用しない場合よりも使用した場合の方が、より多くの二次電子が圧力ステージアパチャーワオリフィス16を通る。

【0042】

2つの圧力ステージアパチャーワ18, 44間に中間スペースを通り、さらに、上側の圧力ステージアパチャーワオリフィス41を通る二次電子の移動に対して、単一ポールのレンズが、重要な規則を、もしこれが存在すれば、呈する。これら圧力ステージアパチャーワは、磁力線が下側の圧力ステージアパチャーワ18のオリフィスと上側の圧力ステージアパチャーワオリフィス41を通るように、配設されている。（これは、例えば、図1, 6, 7, 8, 9, 10に示されるように、上側の圧力ステージアパチャーワ44のオリフィスが、下側の圧力ステージアパチャーワ18のオリフィスよりも小さく、また、上側の圧力ステージアパチャーワ44が、ポールシュー58の下側に設けられた場合である）。下側の圧力ステージアパチャーワの上方では大きな散乱が生じないので、下側の圧力ステージアパチャーワを通る全ての二次電子は、これらが強度が高くなる磁界によってこれらの進行方向が逆になるように収束されない限りは、上側の圧力ステージアパチャーワに達するようになる。この磁界は、光軸に対して大きい角度で二次電子にのみ印加される。これは、電極18, 44間に付加の電圧を印加することにより、完全に防止され得る。

【0043】

図2で下側の圧力ステージアパチャーワオリフィス16の上方で、上側の圧力ステージアパチャーワ44のオリフィス41にまでの圧力は、試料室内の圧力と比較して、数十倍低下する。この圧力低下は、下側の圧力ステージアパチャーワオリフィス16のサイズに依存する。上方領域方向へのこの圧力低下により、二次電子の平均自由行程が長くなる。

【0044】

前記試料室内の低圧（例えば、1hPa）、もしくは下側の圧力ステージアパチャーワ16の小さい直径（例えば、200μm）で、または、二次電子がオリフィス16に達する比較的高いエネルギーレベル（例えば、20eV）を有してい

(19)

特表2002-507045

るときには、上側の圧力ステージアパチャード1を通る二次電子を偏向するような電界を圧力ステージアパチャード18の上方に必要としない。これは、単一のポールのレンズ64の磁界が、上側の圧力ステージアパチャード1を通る二次電子を偏向するように存在するときである。

【0045】

単一のポールのレンズ64が存在していないか、充分に強く動作されない場合には、図2ないし4に示される実施の形態における二次電子は、2つの圧力ステージアパチャード間の電界により、二次電子が偏向されるアパチャードの上方で生じる良好な真空のもとで、上側の圧力ステージアパチャード1上に収束される。この機能上の原理に基づいて、二次電子が上側の圧力ステージアパチャードのオリフィス41上に収束されるときに、二次電子にとってさらなる衝突が生じないようすることは必要としない。これは、下側の圧力ステージアパチャード18のオリフィスの上方の電界強度の増大と圧力の低下により、達成される。同様に、二次電子の平均自由行程が長くなって、また、オリフィス16の上方の電界強度が、電極18の円錐形状によって、上方に向かうのに従って非常に大きくなる。これら両ファクターは、一緒になって、2つの衝突の間の二次電子により達成される速度がオリフィス16の上方で非常に早くなる結果をもたらす。さらに、二次電子の平均自由行程もまた、速度が早くなるのに従って長くなり、この結果、二次電子は、これら二次電子がもはや衝突を生じないような、平均自由行程内で（かくして、二次電子の平均自由行程もまた非常に長くなれる）オリフィス16の上方で早くなる。

【0046】

かくして、多くの二次電子は、オリフィス16から僅かに離れた上方で最後の衝突が生じる。そして、二次電子は、2つの電極18、44間の電界により、上側の圧力ステージアパチャードのオリフィス41上に収束される。もし、単一ポールレンズ64が動作状態にあれば、如何なる所望の円錐広がり角（cone flare angle） $\beta \leq 90^\circ$ が可能である。また、単一ポールレンズ64が不動作状態にあれば、内円錐面に対する円錐広がり角 β が、好ましくは 20° ないし 75° である。が可能である。オリフィス41内の電界強度とオリフィス

41の直下の電界強度とが等しい二次状態のもとでさえも、二次電子を問題なくオリフィス41に収束させることが可能である。2つの電極44, 55間の予め設定された電位差で、かつ予め設定された円錐広がり角 β , γ のもとでも、オリフィス41への二次電子の収束は、電極44を適当なに選定することにより、達成される。電極50が少し大きい場合、かくして、電極44が少し低いレベルに配置されている（従って、小さい外形である）場合には、低い電界強度がオリフィス41内で得られる。従って、電極18, 44間の電位差は、オリフィス41の直下とオリフィス41内とが同じ電位差となるような程度に減じられる。これは、二次電子の比較的弱い収束を生じさせると共に、二次電子がこれに沿って収束されるパス長さが短くされる。（この距離は、電極18, 50間の電位差が小さいので、これら2つの電極間の距離を短くすることにより、さらに減じられる。）

かくして、単一ポールレンズ64の磁界が無くても、二次電子は、電極44を適当な高さに配置させることにより、電界によってオリフィス41に収束されるような結果を達成することが常に可能である。（これは、非常に大きい円錐広がり角 β の場合にのみ不可能である）。オリフィス41内の電界強度を高める、従って、二次電子の収束を高める他の可能性は、図2の電極44を、電極50のオリフィス内で上側が平坦面とすることである。

【0047】

前記オリフィス41の直径は、二次電子の僅かに異なる収束が、試料室内の異なる気体圧力で単一ポールレンズ64の充分な磁界が無くて、動作上明らかとなるように小さく選定されている場合には、本発明の好ましい実施の形態は、オリフィス41への二次電子の収束が調節され得る事実からなる。（これは、収束に際して如何なる大きな変化を必要としない）。例えば、電極18, 44間の電圧が、変更され得、かくして、電極44, 55間の電圧が、前者に比例して変更されうる場合には、オリフィス41への二次電子の収束が果たされる。他の可能性は、一方の圧力ステージアパチャー18もしくは44の高さが調節され得る（即ち、光軸に沿う圧力ステージアパチャーの一が調節され得る）ことである。X0I、収束を変更する他の可能性は、圧力ステージアパチャーとして機能せず、電

(21)

特表2002-507045

極18, 44間に装着される大きいオリフィス径を有し、これら2つの電極の一方に絶縁並びに中心付けをなして好ましくは取着された付加の電極を使用することにより、得られる。電極18の電位と、この付加の電極の電位とは、二次電子の収束が変えられながら、オリフィス41内の等電位面が平面に維持され続けるように変更され得る。ここでの二次電子の調節もしくは変更可能な収束は、特に、大きい圧力ステージアパチャーオリフィス16に対しては、重要である。

【0048】

前記電極44の上方の二次電子の残りのバスは、図1に基づいて以下に詳細に説明される。二次電子は、電極44, 55間の電界によりさらに加速され、高い運動エネルギーで検出器74に飛び込む。前記圧力ステージアパチャー18, 44内並びにこれらの上方の気体圧力の大きな減少により、高い検出感度の検出器を使用するための充分に高い真空が、検出器74の場所での試料室内の圧力増大にも係わらず達成される。特に、シンチレータ導波組合せ体、チャンネルプレート、並びに、金属-半導体遷移もしくはp-n接合を有する半導体検出器が、検出器74として使用するのに適している。プラスチック・シンチレータ、YAGシンチレータ、YAPシンチレータ等に基づくシンチレータと増倍管との組合せもまた、使用され得る。チャンネルプレートを使用する場合には、独国特許出願DE3,703,029 A1に記載されているように、検出器の開口のために付加のリニア電極を使用することが好ましい。

【0049】

図3は、上述した第2のファクターを説明するために、図2と同様に詳細に本発明に係わる圧力SEMの変形例を示す。図3で上側の圧力ステージアパチャー派、複数の層にデザインされている。これの下側39並びに上側43は、導電材料の層で形成されているけれども、絶縁材料で形成された少なくとも1つの層が、内部に設けられている。かくして、導電層39, 43の接触は、ここで説明された範囲の外で生じる。

【0050】

電極18, 39, 43の電位は、同じ電界強度が電極39, 43のオリフィス内と、これら2つの電極のオリフィス間の領域41内で生じるように、選定され

ている。前記電極39, 43の好ましい厚さは、光軸79の近くで非常に薄い($\leq 100 \mu\text{m}$)であるので、電極39, 43のオリフィスの領域内と、これら電極間の領域41内との等電位面は、ほとんど平面である。前記電極39, 43間の好ましい距離は、10ないし $1000 \mu\text{m}$ である。非常に薄い電極39, 43を有する層で形成されるような圧力ステージアパチャーを構成する適当な可能性は、例えば、光軸の周りのコーティング層が形成される間の領域でエッティングされた絶縁体に金属コーティングされた電極39, 43から、例えば、なる。前記電極39のオリフィスは、前記電極43のオリフィスと等しいか大きくすることが可能であり、また、3つ以上の層が使用され得る。さらに、下側の圧力ステージアパチャー18は、複数の層にデザインされ得る。導電体層は、特別な平坦、円錐、もしくは、切頭円錐形であり得る。複数の層で形成された下側圧力ステージアパチャー18を使用することにより、特に、検出器への二次電子の移動が改良され、視野が大きくされ得、そして、圧力ステージアパチャー18の近くでの静電レンズのエラー係数が減じられる、効果が得られる。

【0051】

図4は、本発明に係わる圧力SEMの他の変形例の圧力ステージアパチャーを詳細に示す。図2に示される変形例と異なることは、圧力ステージアパチャー44のための付加の装着体40を有することであり、また、図4に示される電極50が、間に絶縁体56が無いポールシュー58の直接接続体としてデザインされ、この結果、光軸に対して特に良く中心付けされて接地され得る、ことである。この変形例において、電極50は、取り外され得ないが、部品13, 18, 40, 42, 44(そして、図1から60, 63, 65, 68, 69)は、試料室が真空の状態で圧力SEMの動作のために取り外され得る。付加の単一ポールレンズから離れて、取り外しの後の真空動作のための圧力SEMの残りの部品は、IC-TやLEOのような会社から入手可能なSEMの従来のデザインに非常に対応する。

【0052】

ばね部材としてデザインされた装着体40は、電極50のボアに中心付けられた圧力ステージアパチャー44を、所定位置に保持する。また、部分18の上方

(23)

特表2002-507045

の絶縁体に支持された接着体としてね部材を使用することも可能である。さらに、圧力ステージアパチャー18は、電極50の予め適当にデザインされた外エッジに中心付けされ得る。また、上側の圧力ステージアパチャー44と、その接着体と、波形チューブ63(図1を参照)に通じる付加のポンピングを省略することが可能である。このことは、簡単にされた集合体により、簡単化されたデザインの効果があり、これでは、二次電子の収束は、単一ポールレンズ64がなくても必要ではなく、また、一次電子ビームの収束での上側の圧力ステージアパチャー44の負の影響が無いことが可能である。しかし、上側の圧力ステージアパチャー44の無い、この変形例において、かなり低い圧力のみが、残りの圧力ステージアパチャー18の同じオリフィス直径で、試料室内で使用され得る。かくして、検出器74の下に1つだけの圧力ステージアパチャー18を有するこの変形例は、大きい視野での湿った試料の観察にはあまり適していないけれども、試料室内の気体が、代わって、電荷の発生を防止するように使用されるような適用に対して主に使用される。

【0053】

前記単一ポールレンズ64が動作していないときには、第1の二次電子クロスオーバーが、オリフィス16のまさに上方で、図2ないし4に示されているようなデザインで、かつ真空動作で得られ、また、電極18, 44(もしくは39)間の電界により、オリフィス41上に結像される、このオリフィス41上への二次電子の収束は、試料11と電極18との間に低電圧を印加することにより、並びに/もしくは、二次電子の収束を変更するように図2を参照して説明された方法の1につより、達成される。図2ないし4に詳細に示される圧力SEMでの真空動作のために、図8もしくは9に示される付加の上側検出器91との組合せが有効である。

【0054】

単一ポールレンズ64が動作されていないときに、二次電子は、図2ないし4に示される実施の形態での上側の圧力ステージアパチャーのオリフィス41上に収束されなければならない。しかし、図5は、二次電子が、単一ポールレンズの磁界が無くても所定の場所に収束される必要がなく、かくして、二次電子収束の

ための決定されたパラメータが自由に選定され得る実施の形態を示す。図5に示される実施の形態の他の効果は、単一ポールレンズ64の磁界が無くとも、二次電子の非常に大きい成分が、検出器の信号に貢献することである。

【0055】

試料11へのオリフィス41、16を通る一次電子ビームのバスと、圧力ステージアバチャーレンズ64と、試料11からオリフィス16への、そしてオリフィス16を通る二次電子のバスと、オリフィス16の上方の圧力減少とは、図2に示される場合と同じである。しかし、図2に示される非常に薄い層で形成された圧力ステージアバチャーレンズ64に代わって、図5は、厚い壁部分42を示す。これの好ましい厚さ(通路41の長さ)は、0.4mmないし6mmである。これは、図5では水平ハッチング部分42により示され、光軸79に垂直に伸びた導電層と絶縁層とにより構成されている。これら導電層は、200μm未満の好ましい厚さを有し、一方、複数の絶縁層は、これよりも厚くて良い。前記部分42は、絶縁装着体40中へと装着され、この絶縁装着体は、電極50のボアに部分42を中心付けする。この部分42の上側は、前記電極50と導電層の電極を形成する導電層43により覆われている。また、この部分42と装着体40の下側は、導電層39により覆われている。この導電層は、前記電極43に対して負の電位の電極を形成する。また、前記部分42は、光軸79の周りの1つの中心通路41と、これの外側で周方向に分布された複数の通路36とを有する。

【0056】

前記通路36、41の表面は、導電性の低い層で覆われており、これの電気的パラメータは、例えば、チャンネル形成部材もしくはチャンネルプレートで使用されている電気的パラメータのような導電性の低い層の電気的なパラメータと対応している。前記通路36、41内のこの低導電層は、光軸に沿って均一に分布された全抵抗を有する。(光軸に沿って抵抗を均一に分布させるために、付加の低導電層が、部分40との境界の所で部分42に設けられ得る)。この結果、低導電層が接觸している電極39、43間で、通路36、41に均一な電界が形成される。薄い絶縁層と導電層とを交互に積層してなる構造の部分42は、通路41内に、低導電層の僅かに不均一な分布があっても、回転対称電界を発生させる

。この結果、良好な解決が果たされる。

【0057】

電極50, 55間の電圧の大きさは、図1を参照して説明されている。また、電極39, 43間の電圧は、通路41内の電界強度が通路41の直接上方の電界強度と同じになるような大きさである。また、電極25, 39間の電圧は、通路41の直下の電界強度が通路41内の電界強度と同じになるような大きさである。圧力ステージアパチャーワー18は、電極25と同じ電位であり、容易に取り外し可能なように電極25に装着されている。図5に基づくデザインの好ましい実施の形態は、圧力ステージアパチャーワー18が試料室を気体抜きすることなく、交換可能となっている。圧力ステージアパチャーワー18を交換するための対応する装置(図示せず)は、例えば、試料テーブルのエッジに装着され得る。

【0058】

前記長く狭い通路36, 41は、部分42の下の気体に対して大きい流れ抵抗を呈する。この流れ抵抗は、図1に示される電極55を通る圧送での流れ抵抗よりも1オーダ以上大きい。通路36の好ましい直径は、通路41の好ましい直径よりも小さい。この通路36は、図5に示されているように、下方に向かって広がり得る。この結果、狭いウェブのみが、部分42の下面に通路36間で残っている。この結果、通路36を通る二次電子の量が多くなる。

【0059】

図5において、二次電子は、(二次電子の収束に応じて)通路41並びに/もしくは通路36に入る。二次電子が通路の表面で低導電層と衝突すると、高い可能性で少なくとも1つの二次電子をここで(チャンネル形成部材もしくはチャンネルプレート内で)生じさせる。かくして、検出器の信号に貢献する。

【0060】

この装置は、図5に示されるデザインで試料室内が真空もしくは非常に低い圧力のもとで動作可能である。下側の圧力ステージアパチャーワーが取り除かれたときに、試料11と電極25との間が長い距離(5mm以上)であっても、良好な解像度と検出とが効果的に達成される。前記電極25, 39間の電圧は、通路41の直下の電界強度が通路41内の電界強度と同じように大きい。かくして、走査

(26)

特表2002-507045

中心が道路41の直上もしくは中にある場合には、2重の偏向部材を使用することにより、非常に大きい視野が得られる。

【0061】

図5に示されるデザインの好ましい実施の形態と特別な効果とは、部分42が下側の圧力ステージアパチャ-18に非常に接近して（圧力ステージアパチャ-18に対して2mm以下の好ましい距離で）配設されることによる。前記道路36は、ここで省略され、また、道路41と、部分42と、絶縁体40と、導電層39とは、下端に向かう円錐テーパ形状となっている。倍率が非常に小さくない場合（ \geq 約1000X）、この変形例は、単一ポールレンズ64と組合わされて、非常の好ましい検出効率を得ることができる。小さい倍率に対しては、単一ポールレンズ64は省略される。

【0062】

図1、3、5に示される実施の形態には、静電-磁気組合せ対物レンズとが設けられている。図2、4に示される実施の形態は、圧力ステージアパチャ-間に磁界を発生させる純粹の磁気対物レンズと、静電-磁気組合せ対物レンズとの組合せとで機能する。純粹の磁気対物レンズの場合、圧力ステージアパチャ-18、44間の電圧は、静電-対物組合せ対物レンズの場合よりも低いが、両圧力ステージアパチャ-は、同じ電位とされ得る。上側の圧力ステージアパチャ-44の領域での低い電界強度によって、特に薄い圧力ステージアパチャ-18が必要ではないが、代わって、例えば、通常のアパチャ-もまた圧力ステージアパチャ-として使用され得る。

【0063】

図6並びに7は、純粹な磁気対物レンズを有する実施の形態を示す。図6は、欧州特許EP 0767482（図1）により知られている対物レンズの詳細を示す。この対物レンズは、軸ポールシュー間隙を有するレンズ62により動作されるか、図6に示される領域の外に配置された単一ポールレンズにより動作される。これの内側ポールシュー58は、試料に接近するように延びている。単一ポールレンズにより動作される場合には、検出は、図6に示されるポールシュー58とレンズ62との間の領域で生じる。尚、この領域は、2つのレンズの磁界に対し

てシールドされている。信号は、ポールシェ58のボアを通って光ファイバーの助けにより送られて、図示の領域の外にある光電像倍管により増幅される。単一ポールレンズが動作状態ない場合には、試料室内の気体による動作は、コレクター電極もしくは気体シンチレーション検出器によって約1mmよりも長い動作距離に対してのみ図6に示されるデザインで可能である。図6において、検出は、コレクター電極13の助けの場合に果たされ、また、好ましくは、2重偏向部材が、使用され、2つのこれにより、圧力ステージアパチャー間のポイントの周りで走査することが可能である。

【0064】

圧力ステージアパチャー18の上方の電界強度は、図6、7に従ったデザインに基づいて、広範囲で自由に選定され得る。この場合、静電-磁気組合せレンズを有する図2ないし5に従ったデザインの場合よりもはるかに小さくされ得る。また、これは、2つの圧力ステージアパチャー18、44が同じ電位の場合には、図6に示される場合のように、完全に不要になり得る。このことは、2つの圧力ステージアパチャーが1つの集合ユニット26を形成するように非常に簡単なデザインで、導電部分19の助けで組合せられ得る効果がある。尚、この集合ユニットは、これが容易に取り外され得るように(図5に示されるように)、部分25に装着されている。

【0065】

図6において、比較的正電位である電極が、下側の圧力ステージアパチャー18の上方に設けられていない。均一な好ましい検出効率が、図6と比較して、しかし、図6に示される実施の形態の変形により得られる。この変形では、上側の圧力ステージアパチャー44は、下側の圧力ステージアパチャー18に対して正電位になっている。この上側の圧力ステージアパチャーは、ポールシェ58もしくは電極67に効果的に接触され得、また、部分19は、高さが比較的低く、かつ外径が比較的長く、また、絶縁体を有する。

【0066】

図6において、一次電子ビームは、光軸79の近くを通って、単一ポールシェ間隙を有するレンズ62の磁界、もしくは単一ポールレンズの磁界によりより試

料11上に収束される。図6において、圧力ステージアパチャ-18のオリフィスを通って試料11に向かう一次電子ビームのパスと、試料11と圧力ステージアパチャ-18との間の電圧と、試料11から圧力ステージアパチャ-18のオリフィスに向かう二次電子の移動とは、単一ポールレンズ64を使用する場合には、図2に説明したのと同じである。異なる点は、図6では、圧力ステージアパチャ-18の上方に電界が無く、このため、圧力ステージアパチャ-18のオリフィスを通って下方に向かう電界が無く、この結果、試料11と圧力ステージアパチャーとが同電位とはならず、圧力ステージアパチャーが試料に対して正電位となるであろう、ことである。

【0067】

気体圧力と、圧力ステージアパチャ-18のオリフィスの径と、試料と圧力ステージアパチャーとの距離と、試料の傾きと、一次エネルギーと、倍率とに応じて、図6に示される圧力ステージアパチャーと試料との間の好ましい電圧は、励起された単一ポールレンズを使用した動作で、数ポルトないし数百ポルトである。例えば、1.0 mbarの気体圧力で、例えば、試料の所が200 mTの磁束密度で、例えば、圧力ステージアパチャーのオリフィスの径が、例えば250 μ mで、試料と圧力ステージアパチャーとの間の距離が250 μ mである条件の動作で、二次電子を下側の圧力ステージアパチャーに搬送するためには、例えば、数ポルトの電圧で充分である。上述したように図6に示される実施の形態の変形に対して、上側の圧力ステージアパチャ-44が下側の圧力ステージアパチャ-18に対して正電位の場合には、下側の圧力ステージアパチャ-18の上方の二次電子のさらなる効果的な搬送が、試料と圧力ステージアパチャーとの間の電圧が低い場合でも生じる。下側の圧力ステージアパチャーのオリフィスの中並びにこれの上方の領域に電界が無い、図6に示される実施の形態において、数エレクトロンポルトのエネルギーを持ってここに達する二次電子は、移動方向の前方に向いた弱い角度分布を有し、また、比較的大きい平均衝突角で弾性衝突が生じ。しかし、衝突の低い可能性と、比較的小さい平均衝突角と、移動方向の前方に向いた比較的強い角度分布が、例えば、20 Vの電圧が印加されたときに見られる。数百ポルトにまでおよぶ比較的高い電圧は、弱い二次電子カスケードが上記例の

(29)

特表2002-507045

条件のもとで発展するので、また効果的であり得る。利得は、コレクター電極もしくは気体シンチレーション検出器に関連しては完全に不適当ではあるが、附加の利得が、高感度検出器51と関連して達成され、かつ、検出器のデザインに応じた、広いエネルギー分布のために、検出器51に達する少し減じられた量の二次電子に対して完全に保障することができる。

【0068】

試料室からオリフィス16を通って入る気体は、側方のオリフィス20とチューブ31とを通って圧送される。図2に示されるのと同様に、また、図6でオリフィス16の上方での大きい圧力効果と、二次電子の平均自由行程での増長とが、生じる。この結果、多くの二次電子がオリフィス16の上方の僅かの距離で最後の衝突が生じる。励起された単一ポールレンズを使用した動作において、二次電子は、これらが上側の圧力ステージアパチャードのオリフィス41を通る螺旋形バスに収束される。

【0069】

前記圧力ステージアパチャード18, 44のオリフィスの好ましいサイズは、試料室内の所望の最大許容圧力と、使用され得る所望の最小一次エネルギーと、カソードにより要求される真空度とに依存している。前記圧力ステージアパチャード44の上方に附加の圧力ステージアパチャードを挿入し、これらの間のスペースを排気することは可能である。圧力ステージアパチャード18, 44のオリフィスの好ましい直徑は、図2の場合と同じであり、ここでは、オリフィスは、下側の圧力ステージアパチャード18のオリフィスが小さくされ得る。これは、単一ポールレンズにより発生される磁束密度が下側の圧力ステージアパチャード18のオリフィスにおけるよりも上側の圧力ステージアパチャードのオリフィス41における方がはるかに大きい（そして、二次電子のラーモア半径が非常に小さくなる）ためである。かくして、比較的小さい上側の圧力ステージアパチャードを使用してさえも、下側の圧力ステージアパチャードのオリフィスを通る磁力線の全てが、また、上側の圧力ステージアパチャードを通り、かくして、光軸の方向の速度成分が充分に大きい二次電子のほとんど全てがまた上側の圧力ステージアパチャードを通るであろう、結果を達成することができる。かくして、これら二次電子は、高くなつ

(30)

特表2002-507045

た磁束密度により反対方向に収束されない。上側の圧力ステージアバチャー44が下側の圧力ステージアバチャー18に対して正電位である、ここで述べた図6の変形例において、下側の圧力ステージアバチャーを通る二次電子のほとんど全ては、また上側の圧力ステージアバチャーを通るであろう。

【0070】

ここに示されるデザインにおいて、試料室に気体がある状態で動作するだけではなく、試料室が真空でも、励起された単一ポールレンズを使用して動作することが可能である。これでは、二次電子は、螺旋バスで圧力ステージアバチャーを通る。

【0071】

磁界の特性コースを説明するために、図6は、試料から検出器のハウジング72の内部への2つの磁力線を一例として示す。磁界強度は、圧力ステージアバチャーのオリフィス41の上方で非常に弱くなっている。単一ポールレンズの強い磁界は、円筒状コイル66, 71の非常に弱い磁界により解放されて、二次電子をさらに上方に案内する。これら磁界の対称軸は、光軸と一致する。前記円筒状コイル71の上方には対向電極78が設けられている。この対向電極は、前記検出器のハウジング72に対して負の電位に維持されており、これにより、二次電子は、試料11と圧力ステージアバチャー18との間に印加される電圧に応じて、光軸の方向で減速され得、ワイヤーネットワーク75の方向に発散され得る。さらに、二次電子は、円筒状コイル71の上方で、このコイル71により発生される磁界80により、ワイヤーネットワーク75の方に偏向される。そして、二次電子は、ワイヤーネットワーク75を通って検出器のハウジング72に入る。ワイヤーネットワークの反対側では、強い磁界が発生し、二次電子を検出器51へと加速し、二次電子はここで検出される。

【0072】

前記ワイヤーネットワーク75と検出器51との間の好ましい電圧は、1ないし10kVである。この検出器51は、例えば、図6に示されるように、半導体検出器もしくはシンチレータで良い。試料室内に気体圧があるときにその高電圧がスパークを避けがたく導くような高感度二次電子検出器の使用は、今まで知つ

(31)

特表2002-507045

ている走査型電子顕微鏡と比較して、はるかに優れた信号-雑音比のための理由である。これは、図6に示される実施の形態で、試料室に気体がある場合に得られる。

【0073】

前記圧力ステージアパチヤー44の上方のスペースは、2つ以上の部分に分けられ得る、前記円筒状コイル間の中間スペースを介し、さらに、付加のボア38を介して排気される。これらボアは、電子光学的な理由のための方法で設けられる。前記スペースを排気するチューブ32が、気体ケット33によりポールシユに対してシールされる部分に開口している。

【0074】

図6での非常に簡単な構成は、余分である前記部分25、チューブ31、下側の圧力ステージアパチヤー18並びに部分19を省略することにより達成され得る。しかし、これは、非常に小さい圧力ステージアパチヤーのオリフィス41での動作のみが、試料室と同じ圧力のもとで可能になる。

【0075】

図6並びに図7に示される実施の形態（もしくは、2つの圧力ステージアパチヤー間に付加の電圧が印加される上記変形例）でのエネルギー分散型X線分析（EDX）を果たすために、EDX検出器が、“EDX”として示される矢印の方向で示される領域の外で、試料室内に装着されている。これは、図1においても可能である。図6において、コレクター電極13のない装着体26が、圧力ステージアパチヤー18と試料11との間の短い間隔にEDX検出器を設けるために、好ましく使用され得る。

【0076】

前記EDX検出器にとって、圧力ステージアパチヤー18と試料11との間の距離は、圧力ステージアパチヤー18のオリフィスの直径よりも好ましくは長く、1.5mm以下である。50Vないし数百V、例えば、300Vの電圧が、圧力ステージアパチヤーと試料との間に好ましくは印加される。試料室内の気体の圧力は、加速された二次電子により発生される気体イオンにより生起される電荷が補償されるような高さに設定される。このような、試料と圧力ステージアパチ

ヤーとの間の短い距離と高い気体圧とを使用することにより、気体イオンが電荷が発生された場所で、非常に制御された状態で試料に達する効果が得られる。この結果、非常に高いパーセントで気体イオンが試料の調べる小さい領域に達するので、電荷の発生が気体イオンにより防止される効率が高くなる。これは、積 p \cdot d (圧力 \times 気体を通る一次電子のパス長) を減じる、かくして、減じられた一次電子散乱で動作することを可能にしている。さらに、散乱された一次電子は、分析される試料上のスポットから比較的短い距離で、瞬間に試料に当る。前記単一ポールレンズが動作しているときには、試料の二次電子像は、高感度検出器 51 と記録 E D X スペクトルとに記録され得る。試料室内が高圧で動作する既知の検出器と比較して、この検出器は、試料と圧力ステージアパチャーヤーとの間の距離が短いために特に有効であり、これは、E D X においても有効である。減じられた一次電子散乱と、これに関連した周りの試料部分からの減じられた信号により、E D X スペクトルでの検出感度は、非常に改良される。オプション的に、一次電子もまた減じられ得る。この結果、E D X スペクトルのための解像度が改良され得る。かくして、試料室に気体を入れる既知のE D X スペクトルの最大の欠点が減じられる。

【0077】

試料と圧力ステージアパチャーヤーとの間の減じられた距離のもとで、生起される電荷に対してより効果的に勝つことによる低い一次電子散乱の効果は、図 1 ないし 9 に示される実施の形態で可能なように、E D X に対してのみではなく、生起される電荷に勝つ関係での全ての適用に大して得られる。

【0078】

半導体製造での計測設備で生じる、傾斜されてはならない平坦な試料上に生起される電荷に勝つ適用のために、図 1 ないし 3 に示される実施の形態の変形例は、好ましい例を表す。この例において、両圧力ステージアパチャーヤー 18, 44 は、平坦であり、また、均一な電界が圧力ステージアパチャーヤー 18 と試料 11 との間と同様に、両圧力ステージアパチャーヤー間に印加される。さらに、レンズ 62 が省略され得る、この例の単一ポールレンズ 64 の内側ポールシェル 58 は、電極 55 とポールシェル 58 との間の電界が静電レンズを形成するように、下方に引かれ

(33)

特表2002-507045

ている。このような簡単な構成に加えて、この例は、特に、2つの圧力ステージアパチャードの中心付けに係わる要求が比較的低いという効果があり、このために、下側の圧力ステージアパチャード18の中心付けのための装置が不要である。

【0079】

中心付けが問題とならない同様の効果は、生起される電荷に勝つだけではない、図1並びに2に示される実施の形態の他の変形例により得られる。下側の圧力ステージアパチャード18が、図1並びに2に示されるように円錐形の場合には、試料の傾斜付けが可能となる。単一ポールレンズ64が、この好ましい例において使用され、これの内側ポールシェル58は、これが電極55と一緒にになって静電レンズを形成するように、かなり下方に引かれている。しかし、この例において、平坦な上側の圧力ステージアパチャード44は、接地されたポールシェル58に対して正電位となっている。この結果、上側の圧力ステージアパチャードのオリフィス41内に低い強度の電界が発生され、この結果、上側の圧力ステージアパチャードのオリフィス41内に平坦な等電位面を得るために2つの圧力ステージアパチャード18、44間に印加される電圧は低い。このように、2つの圧力ステージアパチャード間の電位が低いので、下側の圧力ステージアパチャード18の中心付けは、この例でも問題とはならないので、このための特別な装置は、必要としない。

【0080】

図6並びに7に示されるように、上側の圧力ステージアパチャード44は、また、これら2つの実施の形態において、ポールシェル58の下側エッジの直下に、例えば、最大の磁束密度が光軸上に発生するレベルで、配置されている。

【0081】

図7は、本発明に係わる圧力SEMの他の実施の形態を示す。この実施の形態は、単一ポールレンズ64のみで形成された純粹の磁気対物レンズを有する。試料への一次電子のバスと、単一ポールレンズ64を通る一次電子ビームの収束と、圧力ステージアパチャード18、44のオリフィスの好ましいサイズと、試料11と下側の圧力ステージアパチャード18との間の好ましい電圧とは、図6における場合と同じである。しかし、試料と下側の圧力ステージアパチャードとの間の電圧に関しては、図7は、上側の圧力ステージアパチャード44が下側の圧力ステ

ジアパチャー 18 に対して正電位である、図 6 の変形例に対応していることが指摘され得る。図 7 に示される実施の形態においては、プローブと下側の圧力ステージアパチャーとの間の数ポルトの低い電圧は、二次電子が光軸に垂直な小さい速度成分のみを有するという効果がある。これは、続く検出における検出効率を改善する。さらに、数エレクトロンポルトのみのエネルギーを有する二次電子は、また、非常に小さいラーモア半径を有するけれど、高エネルギーのときよりも長い平均自由行程を有する。正の効果が支配するか負の効果が支配するかは、試料と圧力ステージアパチャーとの間の距離と、気体圧力と、一次電子と、圧力ステージアパチャーのオリフィス 16 の直徑とに依存する。

【0082】

図 7において、両圧力ステージアパチャーは、また、同じ電位に設定され得る。これは、両者が共通の挿入物として非常に容易にデザインされ得る効果があるが、ここに示されるデザインと比較して検出効率が減少する欠点がある。図 7 で示される両圧力ステージアパチャー 18, 44 間の好ましい電位差は、5 V ないし 500 V である。単一ポールレンズの励起と、磁力線と、試料 11 と、下側の圧力ステージアパチャー 18 とに応じて、2つの圧力ステージアパチャー 18, 44 間の電圧に対する電圧制限があり、これを越えると、上方に導かれる磁束密度が増大するために二次電子は方向を変更するように収束されないが、下側の圧力ステージアパチャー 16 を通るほとんどの二次電子は、また、上側の圧力ステージアパチャーのオリフィス 41 を通るであろう。しかし、この電圧制限に加えて、二次電子に与えられるエネルギーは、両圧力ステージアパチャー間の電圧の選定において重要なファクターである。上側と下側の圧力ステージアパチャー間の電圧は、上側の圧力ステージアパチャー 44 の上方の二次電子のエネルギーが、ここでは発散している磁力線に従うのではなく検出器の方向に向かって上方に動くのに必要な最小エネルギーと少なくとも同じ大きさに設定されている。かくして、二次電子は、2つの電極 75, 81 の平均電位である対向電極 78 により、再び減速され得る。

【0083】

強い吸引場を有する検出器 51 は、グリッド電極 75 の後ろにある。二次電子

は、電極 75, 81 間の電界と、磁界 80 とによって、グリッド電極 75 の方向に偏向される。反対方向に移動する一次電子のために、磁界と電界とにより作用する力は互いに打ち消し合い、磁界と電界は、ウイーンフィルターを形成する。例えば、20 eV の二次電子に対して、このウイーンフィルターの比較的強い励起を伴なう 4 keV 以下の一次エネルギーでさえも色エラーが発生しないように、180° 回転した第 2 のウイーンフィルターが第 1 のウイーンフィルターの上方に配設されており、これは、一次電子に対する下方のウイーンフィルターの影響を補償する。この付加の上方のフィルターは、下側のウイーンフィルターの直上に配設される必要はないが、カラム内でもっと上方に設けられ得る。この静磁界が走査コイルにより発生され得る。

【0084】

真空動作と比較して、二次電子を検出器の方向に偏向するウイーンフィルターの比較的大きな励起は、試料と下側の圧力ステージアバチャードとの間に比較的高い電圧が印加された場合に、偏向効率が高くなる効果を有する。このような数百ボルトの電圧までの比較的高い電圧は、動作状態に応じて、有効であり得る。特に、試料と下側の圧力ステージアバチャードとの間の距離が長いときには、二次電子カスケードが 100 V ないし 500 V により発生され得る。このことは、二次電子の少しが下側の圧力ステージアバチャードのオリフィス 16 を通るときでさえも、非常に良好な検出効率が得られるという事実を導く。かくして、図 7 に示されるデザインは、大きい動作距離に対しても適している。同様のことが、図 7 に示される実施の形態に対しても、2 つの圧力ステージアバチャード間に電圧が印加されるこの実施の形態の変形例に対しても言える。

【0085】

試料と下側の圧力ステージアバチャードとの間の 400 V の電圧での最大の二次電子エネルギー分布のための代表的なエネルギー値は、例えば、22 eV である。従って、ウイーンフィルターが、要求された二次電子カスケードでさえも最も可能な検出効率を達成するように強く励起される場合には、二次電子カスケードの助けでなされる事前増幅のために、長い動作距離で得られる良好な検出効率と、長い動作距離での視野の拡大とは、図 7 に示される実施の形態には限らず

、単一ポールレンズを使用した動作での他の実施の形態においても達成される。

【0086】

高い一次エネルギーのために、下側の圧力ステージアパチャードと試料との間に電圧を印加することにより、下側の圧力ステージアパチャードのオリフィス16内の領域に発生される電界曲率は、分解能にとって絶対的には見えない。比較的高い二次電子と、大きく励起された単一ポールレンズとのために、これは、また検出効率にとって絶対的には見えない。しかし、下側の圧力ステージアパチャード18内の電界曲率が、押さえる場合、これは、図4、6に示されるような補助電極13により容易になされ得る。この補助電極13は、下側の圧力ステージアパチャード18に対して正電圧に設定されているので、圧力ステージアパチャードのオリフィス16内の電界強度は、これが干渉を生じさせないような低さにされ得る。圧力ステージアパチャードのオリフィス16の前方の低電界強度領域もまた、検出に対して正である平均二次電子エネルギーを減じる。しかし、二次電子カスケードの利得は、少し弱められる。

【0087】

図7に示される二次電子は、好みしい電圧は1ないし20kVであるグリッド電極75により偏向された後に、図6に示されるような検出器75の吸引場により受け入れられる。

【0088】

図6、7に示された圧力ステージアパチャード44は、これが問題なく取り外されて交換され得るように、容易に交換可能である効果を有する。また、高い磁束密度が、上側のオリフィス41内に生じる効果があり、そして、このオリフィス41は、全ての二次電子だけではなく、下側の圧力ステージアパチャード18により妨げられない後方散乱電子もオリフィス41を通るような大きさであることが好みしい。下側の圧力ステージアパチャードのオリフィス16の直径を特に大きくすることの可能な図6、7に示される実施の形態の他の好みしい変形例は、上側の圧力ステージアパチャードのオリフィス41が、下側の圧力ステージアパチャードのオリフィス16よりも小さいか等しいと言う事実からなっている。上側の圧力ステージアパチャード44のオリフィス直径よりも大きいか等しいオリフィス直径

を有する付加のアバチャード、上側の圧力ステージアバチャード44の直下に（1mm以下、例えば、100μmの距離で）設けられる。これら2つのアバチャード間の中間スペースは、制御可能な気体供給体に接続され、これを介して、例えば、オゾンが入る。圧力ステージアバチャードのオリフィス41の所でのオゾン部分圧力は、100未満のファクター、好ましくは、20未満のファクターによる試料室内での最大可能気体圧力での動作における水蒸気の部分圧力とは異なる。好まれるのであれば、この例の上側の圧力ステージアバチャード44は、同時にアバチャードオリフィスとしても使用され得る。

【0089】

図7に示される上側の圧力ステージアバチャードの装着体19は、電極67に容易に取り外し可能な方法で装着されている。この装着体には、また、圧力ステージアバチャード44が接触している。また、下側の圧力ステージアバチャード18は、ポールシェ58に容易に取り外し可能な方法で装着されている。これら圧力ステージアバチャード間の中間スペースは、例えば、試料室に容易に取り外し可能にフランジにより接続されている波形チューブ63を介して排気される。この波形チューブ63は、試料が最初に回転されたときに全ての方向に傾斜可能のように、一方向のみの試料の傾斜を防ぐ。

【0090】

図7の効果的な変形例は、上方に向かって開口したポールシェギャップを有する他の単一ポールレンズ64が、また、“イン・ライン動作”をする走査型電子顕微鏡、即ち、走査型透過電子顕微鏡により知られているように、試料の下に配置されているという事実からなっている。これは、減じられたエラー係数に加えて、試料の所での磁束密度が高くなる主な効果を有する。この結果、両圧力ステージアバチャード18、44が同じ電位であっても、極く僅かの二次電子のみが、高くなった磁束密度により方向を変更するよう収束される。これと組合せられた好ましい実施の形態は、2つの圧力ステージアバチャードが、図6に示されるよう、共通の挿入体26の一部を構成していることである。図7に示された実施の形態の他の好ましい変更は、検出が、検出器51の吸引場により二次電子を引かれさせるポールシェ58のボアを介して対向電極78の下で生じるという事実

である。これでは、付加の磁場 80 は必要としない。

【0091】

図1において、検出される二次電子のみが、これらが検出器のオリフィス 77 を通らないように、検出器 74 に達するところで光軸 79 から充分に大きく離れているものである。残りの二次電子は、検出器のオリフィス 77 を介して飛ぶ。圧力 SEM の検出効果を高めるために、これら二次電子 86 は、また、図8に示された実施の形態では検出される。このようにするために、付加の上側検出器 91 がアバチャヤー・オリフィス 94 の直下に接着されている。電極 55 は、アバチャヤー・オリフィスを越えて上方に延出されている。そして、アバチャヤー・オリフィス 94 と検出器 91 とは、電極 55 と同じ電位である。小さいデザインサイズのために、前記上側の検出器として（下流光学カップラーを備えた）半導体検出器を使用することが有効である。

【0092】

前記検出器 74 とアバチャヤー・オリフィス 94 とは、また、同時に圧力ステージアバチャヤーとして使用される。圧力ステージアバチャヤー 44, 74, 94 間と圧力ステージアバチャヤー 94 上で、スペースは、矢印で示されるように、オリフィス 73, 76, 98 を介して排気される。電磁アバチャヤー・オリフィスチェンジャーは、アバチャヤー・オリフィス 94 が圧力ステージアバチャヤーとして使用される場合には、アバチャヤー・オリフィスは移動可能である必要がないので、有効である。

【0093】

図9は、アバチャヤー・オリフィス 94 との組合せとしてデザインされた付加の上側検出器 91 を備えた、本発明に係わる圧力 SEM の他の変形例を示す。好みの実施例は、組合せされる部分として半導体材料を使用している。この半導体材料は、アバチャヤー・オリフィスが短い長さを有するように、短い距離 (< 1 00 μ m) を除いて光軸 79 の周りの領域でエッティング除去され得る。金属コーティングが、アバチャヤー・オリフィス 94 として機能するように上方からなされ、組合せされた部分の下から、半導体検出器 91 としてデザインされている。アバチャヤー・オリフィス 94 と組合せられた上側の検出器 91 の好みの実施例

は、ガセット34、36加熱される必要されないようにアパチャーライフス94の上方で超高真空となるという事実である。

【0094】

図9において、カソード99から射出される一次電子ビームは、電磁アパチャーチェンジャーの助けで、所望のオリフィスを通る。検出器91の下で、一次電子ビームは、磁界80、83により、光軸に対して後方に偏向される。次のバスは、図1の場合のように、一次電子並びに二次電子にとって同じである。図9に示されたデザインにおいて、光軸に沿って、下側の検出器のオリフィス77を通る二次電子85（そして、低エネルギーを有する後方散乱電子）は、磁界80、83により光軸から偏向され、上側の検出器91へと案内される。

【0095】

図8並びに9に示された付加の上側検出器91は、図2ないし5に示す実施の形態、並びに一次粒子ビーム装置と組合せ得る。一次粒子ビーム装置で、一次粒子ビームは検出器74のエッジの近く（例えば、検出器のオリフィス77）を通り、また、検出器74の方に二次粒子を加速するように、試料11と検出器74との間に電界が存在する。下側の検出器74のエッジ（例えば、検出器のオリフィス77）近くを通る二次電子もしくは二次粒子の検出は、試料室内に気体がある動作並びに真空動作において、検出効率を高める。

【0096】

前記圧力ステージアパチャーライフス18、44が無くて試料室内が真空での動作において、付加の上側検出器91は、二次電子が、好ましくない動作状態のもとで、下側の検出器のオリフィス77に収束されるときに、検出効率を非常に改良する。さらに、検出効率の改良は、また、低倍率での像の像中心のためのホジティップな影響を有する。下側の検出器74により低倍率で像を記録する場合、ダーク領域は像中心にある。これは、軸から離れた試料の場所よりも軸近くの試料の場所に対して、多くの二次電子が下側の検出器のオリフィス77を通過することにより生じる。このネガティップな影響は、下側の検出器のオリフィス77を通る二次電子から得られる上側の検出器91の信号が、下側の検出器74に加えられたときに、除去される。さらに、付加の上側の検出器91は、真空動作のもとで、非

(40)

特表2002-507045

常に変化可能な付加の信号を与える。これは、光軸に対して小さい角度で試料から射出される二次電子により、特に、発生される。従って、このような二次電子は、下側の検出器74によっては、検出されず、そのオリフィス77を通る。これら電子は、深い孔やひどい裂け目のある構造の測量のためには、必要であり、このために、付加の上側の検出器が理想的には適している。試料の全ての場所のうち、検出器は、光軸に僅かの角度を有して射出される二次電子のみを検出する。このために、深い孔の底は、試料の高くなつた場所と同様に明るくなつて見える。真空動作で別々に異なる初期角度で二次電子を検出するために、検出器91は、例えば、光軸と同心的に配置され得る複数の粒子感応領域に分けられ得る。同様の効果が、また、粒子放射装置の付加の上側の検出器を使用することにより得られる。

【0097】

単一ポールレンズ64の磁界が動作状態になく、かくして、二次電子が、上側の圧力ステージアパチャーのオリフィス41に静電的に販束されなければならない組合わされた静電並びに磁気レンズを使用する実施の形態にとって、試料11と圧力ステージアパチャーのオリフィス18との間の大きな距離のために、解像並びに検出効率が悪くなる。しかし、この動作状態は、大きい動作距離に非常に適している他の検出器との組合わせにより、かなり防がれ得る。電極18, 44(もしくは、図3並びに5においては18, 39)間の電界は、試料11から非常に離れた距離での解像度の低下を生じさせる磁気単一ポールレンズがなくて本発明に係わる圧力SEMのための静電レンズを形成する。これは、非常に大きい動作距離での動作において静電レンズをオフにすることにより防ぐことができ、また、純粹な磁気機構により販束され得る。このようにするために、電極18, 25, 44(代わって、図3並びに5においては、39, 43)、50, 55は、全て等電位となっている。かくして、試料室に気体がある状態での動作のために、コレクター電極検出器(国際出願WO 88/09564 A1, WO 90/04261 A1)、もしくは気体シンチレータ検出器が使用され、また、試料室が真空な状態での動作のために、側方に装着されたEverhardt-Thornley検出器が使用される。例えば、図4に示されたように圧力ステ

(41)

特表2002-507045

ージアパチャー18並びに／もしくはこれに絶縁されたコレクター電極13は、コレクター電極として使用される。かくして、好ましい動作状態が、試料11と圧力ステージアパチャー18との間が長い距離の状態で生じる既知の圧力SEMで達成されるのと同じ信号／ノイズ比が達成され得る。

【0098】

電極55が、接地電圧(<1000V)に近い電位に設定されている場合の純粹な磁気的束は、いかなる顕著な解像度のロスが無くショットキーエミッターもしくは場エミッションカソードを使用したときでも約5keV以下の一次エネルギーに対して可能である(なぜならば、抽出電極が約5keV未満の一次エネルギーの場合のみの強い正電位であるからである)。試料室内に気体がある状態での動作において、高い一次エネルギーへのこの制限は、例えば、10hPaの代表的な気体圧力の場合に>5keVの主エネルギーのみが試料11と圧力ステージアパチャーのオリフィス18との間の比較的長い距離に対してとにかく使用されうるので、全く注目され得ない。

【0099】

試料11と圧力ステージアパチャーのオリフィス18との間の距離が長くて非常に広くなった視野を生じさせる、本発明に係わる圧力SEMの効果的な実施の形態は、偏向コイル59の代わりに、2重の偏向部材が使用されるという事実よりなる。光軸上の走査中心の位置は、このようにして、自由に選定され得る。最大の可能な視野は、走査が2つの圧力ステージアパチャー18、44間の点の周りでなされるとときに達成される。光軸79上の上記点の位置は、視野が下側の圧力ステージアパチャー18とこれの上方の上側の圧力ステージアパチャー44により制限されるように、選定される。

【0100】

試料室が高圧($\geq 100\text{hPa}$)もしくは非常に低い一次エネルギー(例えば、10hPaの水蒸気圧力で<1keV)で動作する、本発明に係わる圧力SEMの実施の形態にとって、動作距離と視野に対しての制限がある。これは、試料11と圧力ステージアパチャーのオリフィス18との間の短い距離(<300μm)と、オリフィス16の小さい直徑(<300μm)とは、ここでは絶対的に

(42)

特表2002-507045

本質的であるからである。試料スタンドを動かすときの試料11と圧力ステージアパチャーラのオリフィス18との間の接触は、試料の形態を調べた後に試料室に気体がある動作により信頼性良く避けられ得る。

【0101】

圧力ステージアパチャーラのオリフィス16による視野の制限は、上述したように、本発明に係わる圧力SEMのデザインにより補償され得る。好ましい実施の形態は、1つの大きい像を形成するように幾つかの別々の電子顕微鏡像を組合わせることの可能な像プロセッサーとコンピュータ制御試料スタンドとの組合せからなる。他の好ましい実施の形態は、反射型光学顕微鏡もしくは共焦点レーザー顕微鏡を試料室内に組み込むことによりなされる。かくして、電子ビームでの測定の前に、この顕微鏡は、既に試料スタンドに装着された試料の測定像を記録するため使用される。そして、この像は、コンピュータに記憶される。コンピュータの助けにより、場所は、走査型電子顕微鏡による測定のために、コンピュータにより制御される試料スタンドにより連続してアプローチされるようにマーク付けされ得る。このような光学顕微鏡の測定像は、多くの適用において不要な圧力SEMでの走査型電子顕微鏡の測定像をなす。

【0102】

試料の測定は、反射型光学顕微鏡もしくは共焦点レーザー顕微鏡を使用して同時になされ、コンピュータにより記憶される場合に、動作距離は、電子ビームにより続く測定での如何なる追加の距離制御がなく、調節され得、そして、試料スタンドの移動での試料11と圧力ステージアパチャーラのオリフィス18との間の接触は、信頼性良く避けられ得る。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、圧力SEMのための圧力ステージアパチャーラと、レンズと、電極と、検出器との本発明に係わる配置関係を概略的に示す図である。

【図2】

図2は、圧力ステージアパチャーラを示す、図1の一部の拡大図である。

【図3】

(43)

特表2002-507045

図3は、層構造をした圧力ステージアパチャーレの図2と同様の拡大図である。

【図4】

図4は、特に、上圧力ステージアパチャーレの変形された装着での、図2よりも少し拡大した、本発明に係わる圧力SEMの他の例を概略的に示す図である。

【図5】

図5は、上圧力ステージアパチャーレが二次電子の通過のための付加オリフィスを備えた層構造を有する、本発明に係わる圧力SEMの他の例を、図2よりも少し拡大して概略的に示す図である。

【図6】

図6は、複数の電磁レンズを有する実施の形態を概略的に示す図である。

【図7】

図7は、複数の電磁レンズを有する他の実施の形態を概略的に示す図である。

【図8】

図8は、付加の上検出器を備えた、図1に示す実施の形態の変形例を概略的に示す図である。

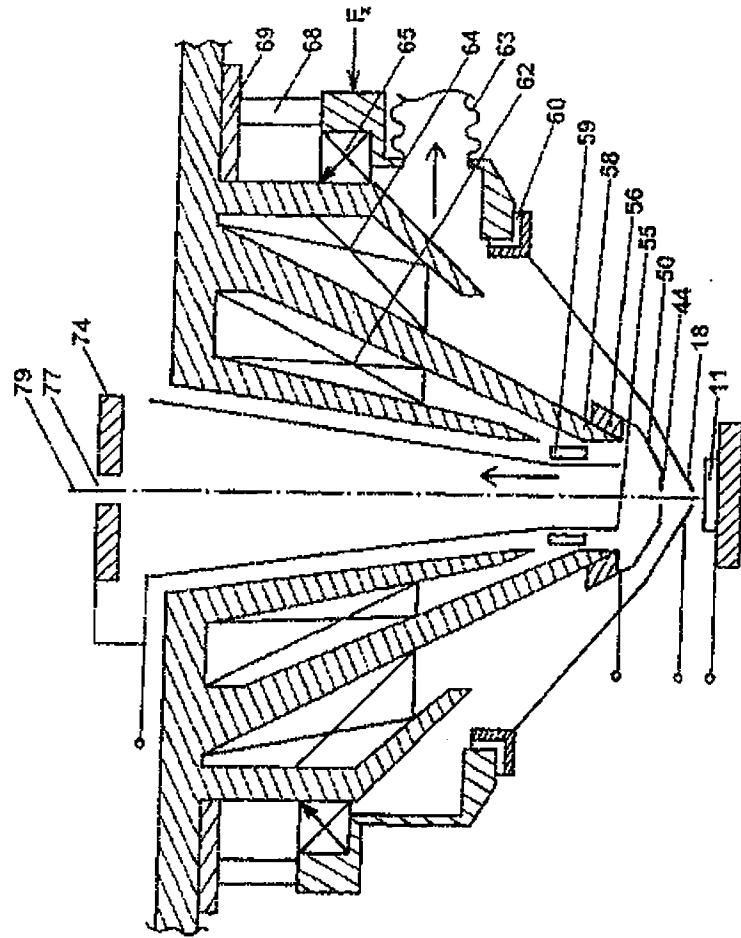
【図9】

変形例の付加の上検出器を備えた図8の変形例を示す図である。

(44)

特表2002-507045

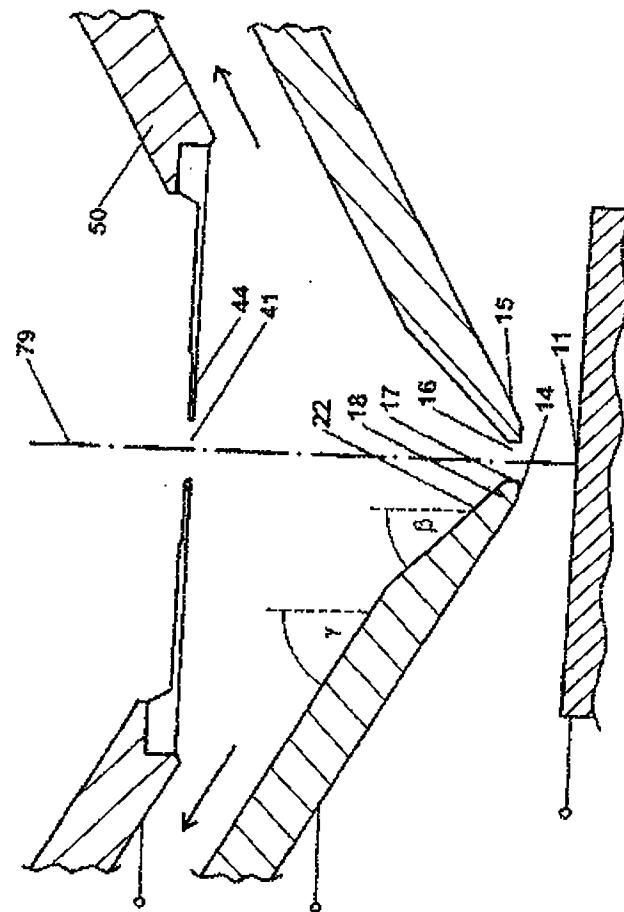
【図1】



(45)

特表2002-507045

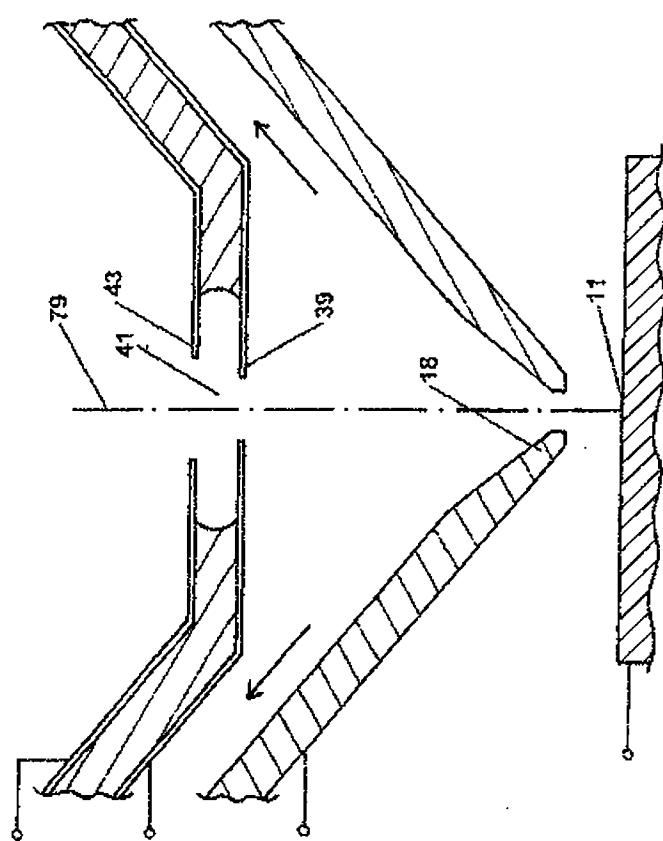
【図2】



(46)

特表2002-507045

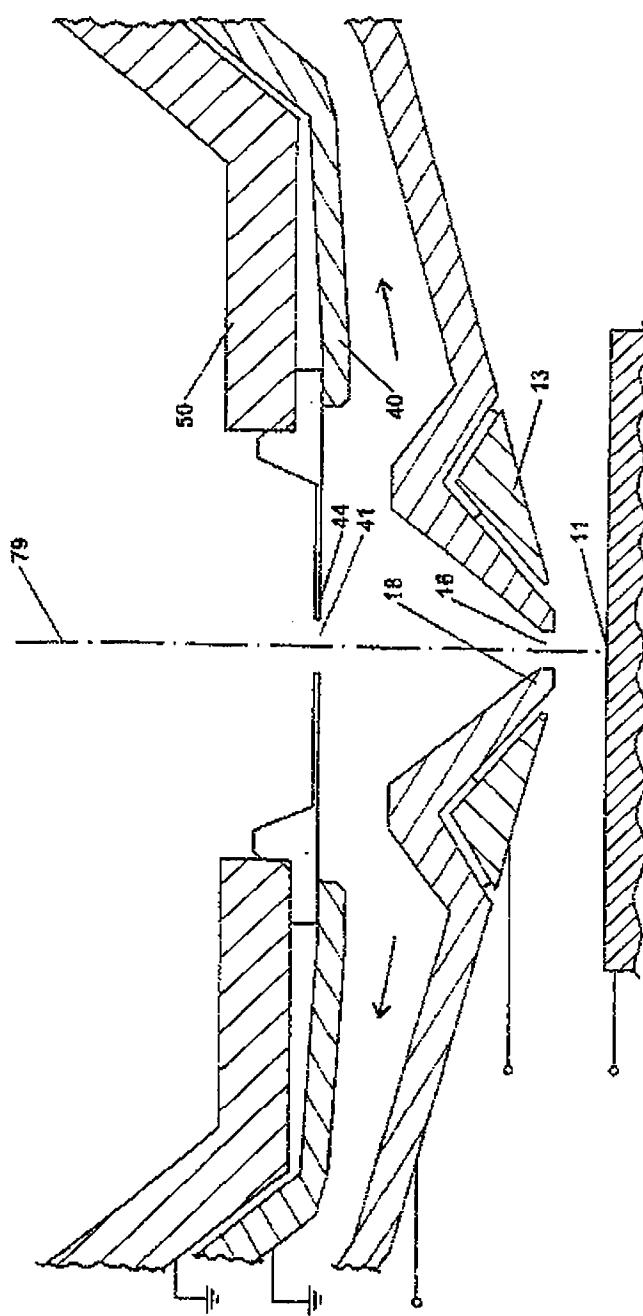
【図3】



(47)

特表2002-507045

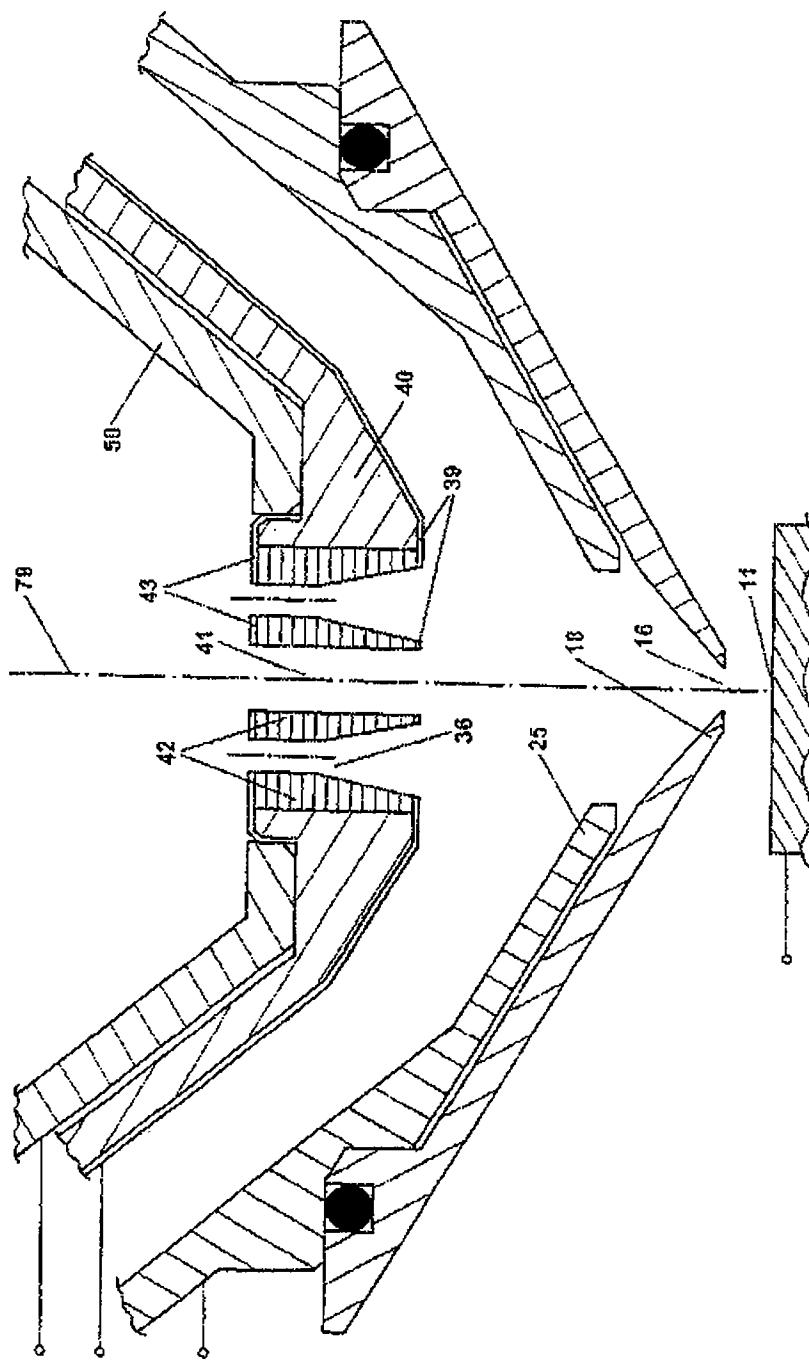
【図4】



(48)

特表2002-507045

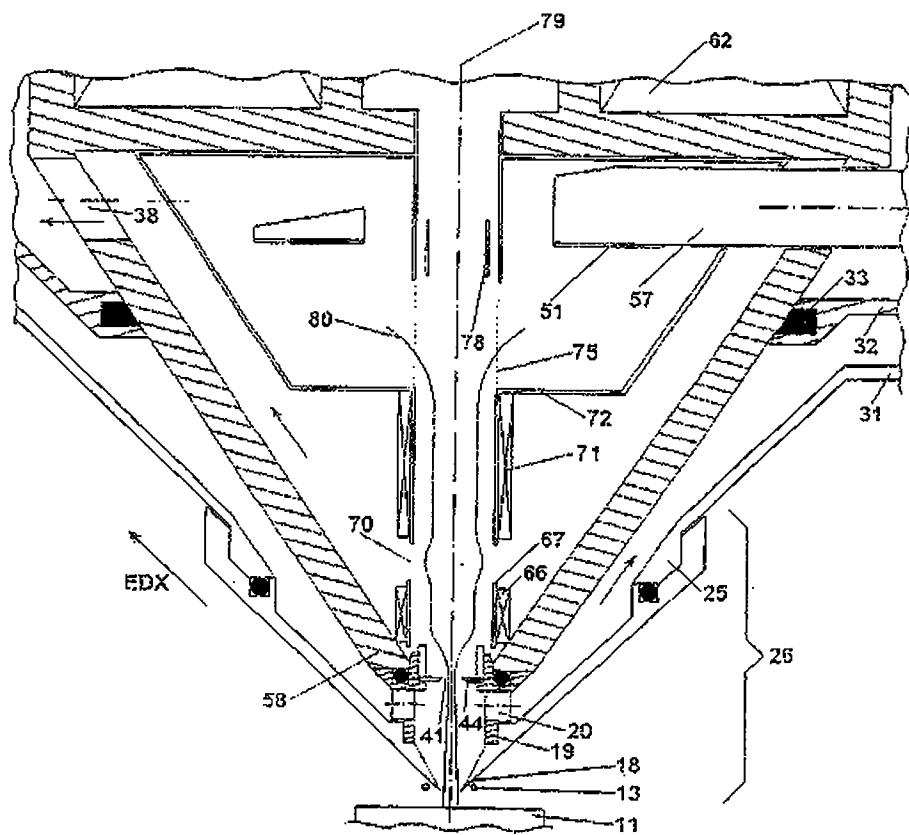
【図5】



(49)

特表2002-507045

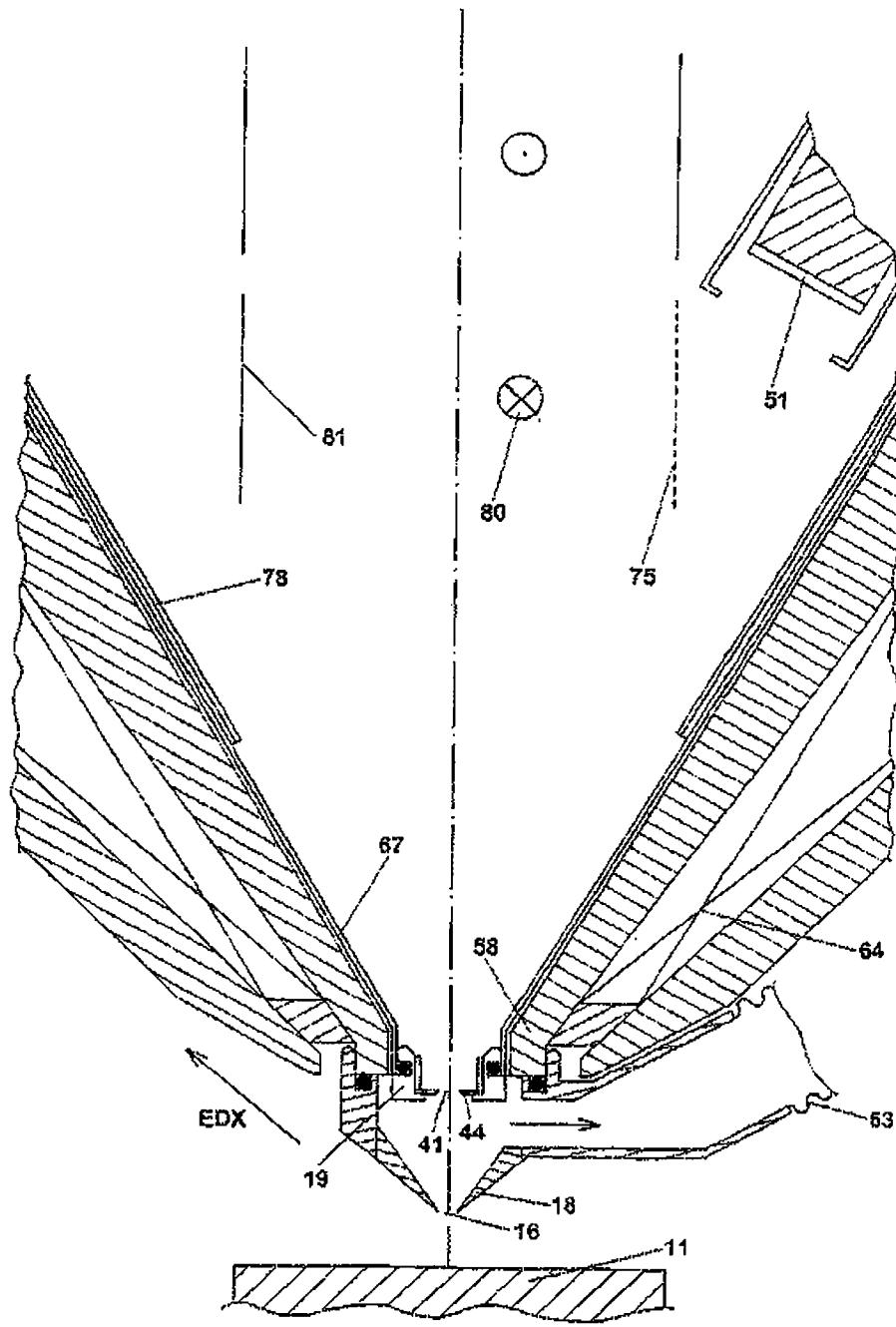
【図 6】



(50)

特表2002-507045

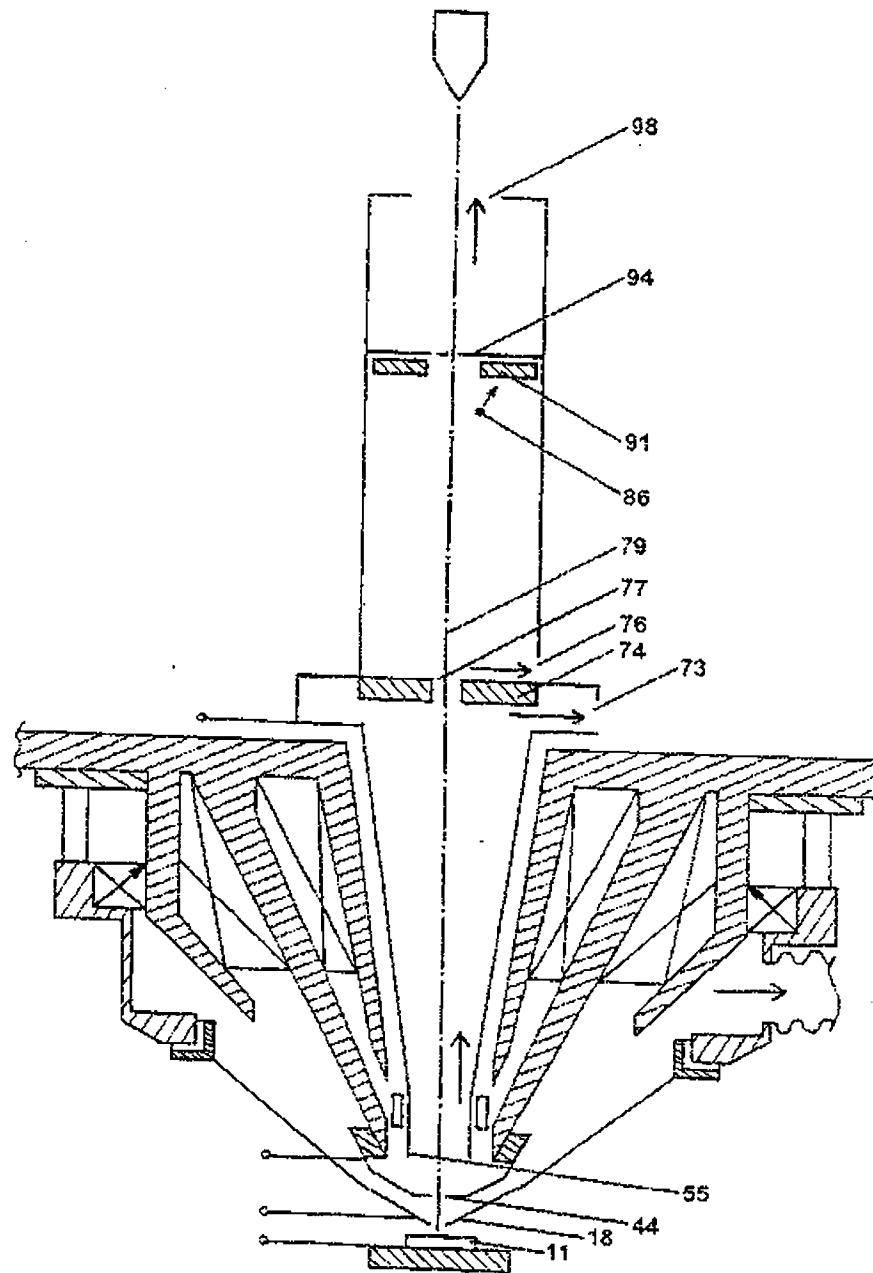
【図7】



(51)

特袁2002-507045

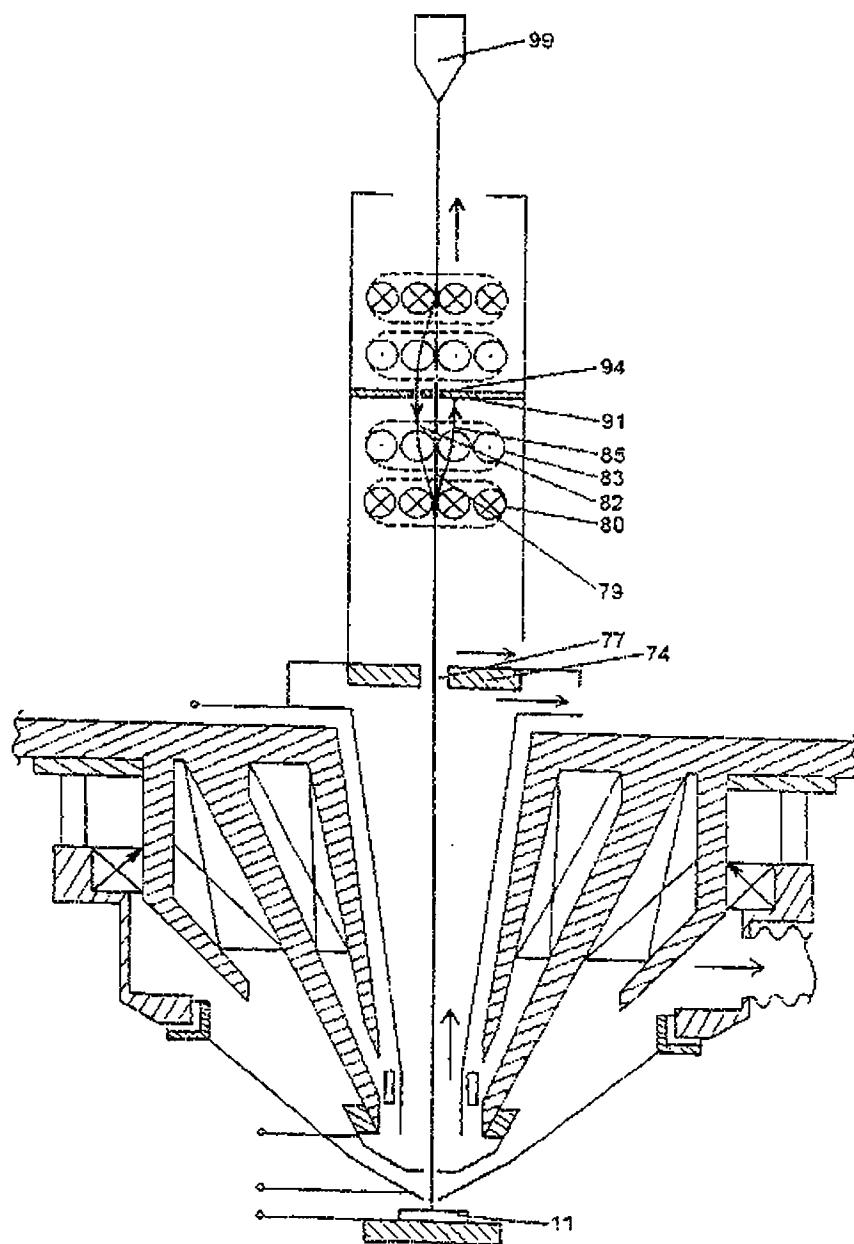
[図 8]



(52)

特表2002-507045

【図9】



(53)

特表2002-507045

【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成12年3月24日(2000.3.24)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ビーム源と試料室とを有し、これらの間に少なくとも1つの圧力ステージアパチャーが配設され、この圧力ステージアパチャーのオリフィスを通って一次電子ビームが前記試料室内の試料に向かって偏向され、最も試料に近い最下側の圧力ステージアパチャー(18)を通って一次電子ビームは試料に当たり、この圧力ステージアパチャー(18)は、走査型電子顕微鏡の残りの顕微鏡カラムに対して試料室内の昇圧をシールドし、また試料からの二次電子が圧力ステージアパチャーのオリフィス(16)を通って少なくとも1つの検出器に達するのを可能にするように設定されている走査型電子顕微鏡において、

試料に対してバイアス電位の高感度検出器(51, 74, 91)が前記検出器として設けられており、この検出感度は、検出器内の信号増倍によって、コレクター電極の検出感度よりも高いことを特徴とする走査型電子顕微鏡。

【請求項2】 前記最下側の圧力ステージアパチャー(18)の上方に配置された少なくとも1つの電極(39, 43, 44, 55)が、圧力ステージアパチャー(18)に対して正電位であり、試料からの二次電子を検出器(51, 74, 91)へと偏向するようになっている請求項1の走査型電子顕微鏡。

【請求項3】 走査型電子顕微鏡は、互いに電気的に絶縁された少なくとも2つの導電層(39, 43)からなる層により構成された少なくとも1つの圧力ステージアパチャーのオリフィスを通る二次電子の検出するようになっており、圧力ステージアパチャーの上側と下側との間に電位差が生じるように、電位が前記導電層に印加されることを特徴とする請求項1の走査型電子顕微鏡。

【請求項4】 前記圧力ステージアパチャー(18)並びに／もしくはこれ

の上方の電極（39, 43, 44, 50, 55）とは、少なくとも1つの静電レンズを構成し、この静電レンズは、圧力ステージアバチャ（18）と、この上方の電極と間の電界、もしくは圧力ステージアバチャの上方の電極間の電界により一次電子ビームを収束するようになっている請求項2もしくは3の走査型電子顕微鏡。

【請求項5】 前記電極（39, 43, 44, 50, 55）は、走査型電子顕微鏡の光軸と同心的に配置されている請求項2もしくは3の走査型電子顕微鏡。

【請求項6】 少なくとも所定の領域で、検出器（51, 75, 91）の画面は、試料の電位に対して500V以上の正電位となっている請求項2ないし5のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項7】 少なくとも所定の領域で、検出器（51, 75, 91）の画面は、試料の電位に対して1000V以上の正電位となっている請求項2ないし5のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項8】 静電-磁気組合せ対物レンズが設けられている請求項2ないし7のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項9】 前記圧力ステージアバチャ（18）の上方の電極（39, 44）は、付加の圧力ステージアバチャを構成し、そして、排気装置が、圧力ステージアバチャ間の中間スペースを減圧にするように設けられている請求項2ないし8のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項10】 圧力ステージアバチャを構成している前記電極は、1500μm以下の特徴的なディメンションを有するオリフィスを備えている請求項9の走査型電子顕微鏡。

【請求項11】 部品のデザインは、試料室内の昇圧での顕微鏡動作のために必要な部品（13, 18, 19, 31, 32, 39, 40, 42-44, 60, 63, 65, 68, 69）が試料室内で容易に分解され得る少なくとも1つの集合体グループを構成するように、設けられている請求項2ないし10のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項12】 第1の検出器（74）が、一次電子ビーム近くの、内側の

オリフィス (77) もしくは外側のエッジを有するように配設され、また、二次電子の移動方向に対してオリフィス (77) もしくは外側のエッジの後方に配置され、オリフィス (77) もしくは外側のエッジを通るもしくは通った二次電子 (85, 86) を検出するように設けられた第2の検出器 (91) を具備する請求項2の走査型電子顕微鏡。

【請求項13】 前記二次電子は、磁場 (80) により光軸から偏向される請求項2ないし12のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項14】 前記検出器 (51, 75, 91) の表面は、少なくとも所定の領域で試料の電位に対して、500V以上の正電位となっている請求項1の走査型電子顕微鏡。

【請求項15】 前記検出器 (51, 75, 91) の表面は、少なくとも所定の領域で試料の電位に対して、1000V以上の正電位となっている請求項1の走査型電子顕微鏡。

【請求項16】 部品のデザインは、試料室内の昇圧での顕微鏡動作のために必要な部品 (13, 18, 19, 31, 32, 39, 40, 42-44, 60, 63, 65, 68, 69) のみが試料室内で容易に分解され得る少なくとも1つの集合体グループを構成するように、設けられている請求項1もしくは15の走査型電子顕微鏡。

【請求項17】 前記試料 (11) と下側の圧力ステージアパチャ (18)との間に磁界が発生されており、この磁界は、光軸に対して回転対称をなし、試料から圧力ステージアパチャのオリフィス (16) への二次電子の移動を良くしている請求項2ないし16のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項18】 前記二次電子は、検出器 (51, 74, 91) への二次電子のパス上にある少なくとも2つの圧力ステージアパチャのオリフィス (16, 41) を、下側の圧力ステージアパチャ (18) を通る磁力線の全てが上側の圧力ステージアパチャ (44) も通るようにこれらのオリフィス内に発生された磁界により、通る請求項2ないし17のいずれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項19】 付加の磁界 (80) がレンズ (62, 64) の磁界に加えて発生され、二次電子を検出器 (51) の方向に偏向する請求項2ないし18の

いすれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項20】 対向電極(78)が、二次電子を減速して、検出器(51)への二次電子の移動を助けるように設けられている請求項1ないし19のいすれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項21】 エネルギー発散型X線検出器(EDX)が、試料(11)と下側の圧力ステージアパチャ(18)との間が1.5mm未満の距離のもとで動作するように設けられている請求項1ないし20のいすれか1の走査型電子顕微鏡。

【請求項22】 昇圧のもとで、試料室内の試料の走査型電子顕微鏡像を記録するための請求項1ないし21のいすれか1の走査型電子顕微鏡。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】

【課題を解決するための手段】

この目的は、請求項1並びに／もしくは3に係わる態様を有するSEMにより達成される。本発明の効果的な実施の形態は、従属請求項に規定されている。

(57)

特表2002-507045

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Appl. No.
PCT/EP 99/01544

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC € H01J37/28 H01J37/244		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Relevant document classification (International classification followed by classification symbol) IPC 6 H01J		
Documents which could not be consulted other than maximum documentation to the extent that such document was intended in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Character of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 97 07526 A (PHILIPS ELECTRONICS N.V.) 27 February 1997 (1997-02-27) page 21, line 20 - page 22, line 33; figures	1,2,5
A	US 5 362 964 A (KNOWLES W RALPH ET AL) 8 November 1994 (1994-11-08) column 7, line 10 - column 10, line 20; figures 6-8	1,2,5
A	US 5 677 531 A (MIYAZAKI YASUMICHI) 14 October 1997 (1997-10-14) column 3, line 1 - column 4, line 46; figures 1-3	1
	---	-/-
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: *1* documents defining the general state of the art which are not considered to be of particular relevance *2* earlier documents but published on or after the international filing date *3* document which may show doubts on validity (claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason) (no specification) *4* documents relating to a prior disclosure, use, exhibition or other means *5* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		*1* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to substantiate the principle or theory underlying the invention *2* document of doubtful relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *3* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *4* document similar to the claimed patent
Date of the actual completion of the international search:		Date of mailing of the international search report
26 July 1999		03/08/1999
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 8040 NL - 2280 HV Alphen Tel: (+31-70) 340-2200, Te 31 651 0001 Fax: (+31-70) 340-3015		Authorized officer Schaub, G

Form PCT/ISA/210 (Rev. 15/07/97) (2 pages)

page 1 of 2

(58)

特表2002-507045

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Application No.
PCT/EP 99/01544

C. CONTINUATION DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Character of document, with indication where appropriate, of the relevant details	Reference to claim no.
A	EP 0 817 235 A (HITACHI LTD) 7 January 1998 (1998-01-07) Cited in the application abstract; figures -----	1
1		

Form PCT/IN/00010 (continuation of section 19(4) (a) (2) 1992)

page 2 of 2

(59)

特表2002-507045

INTERNATIONAL SEARCH REPORT				International Application No. PCT/EP 99/01544	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family members		Publication date	
WO 9707526 A	27-02-1997	EP 0788653 A		13-08-1997	
US 5362964 A	08-11-1994	EP 0751200 A EP 0924743 A JP 9501010 T WO 9504367 A US 5412211 A		15-01-1997 23-06-1999 28-01-1997 09-02-1995 02-05-1996	
US 5677531 A	14-10-1997	JP 9050780 A JP 9199070 A		18-02-1997 31-07-1997	
EP 0817235 A	07-01-1998	JP 6132002 A DE 69317847 D DE 69317847 T EP 0592899 A US 5387793 A		13-05-1994 14-05-1998 03-12-1998 20-04-1994 07-02-1995	

Form PCT/0421 (Version 001, version 002)

(60)

特表2002-507045

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY,
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, I
T, LU, MC, NL, PT, SE), JP, US